ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 9 MARS 1914.

PRÉSIDENCE DE M. P. APPELL.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Secrétaire perpétuel** annonce que le Tome III des *Procès-verbaux des séances de l'Académie, tenues depuis la fondation de l'Institut jusqu'au mois d'août* 1835, est en distribution au Secrétariat.

M. le **Secrétaire perpétuel** annonce également que le Tome LII (2[e] série) des *Mémoires de l'Académie des Sciences* est en distribution au Secrétariat.

M. **Paul Appell** présente à l'Académie un exemplaire d'un article de l'édition française de l'*Encyclopédie des Sciences mathématiques*, dont il est l'auteur en collaboration avec M. Lambert. Cet article est intitulé : *Les fonctions sphériques*, exposé, d'après l'article allemand de M. A. Wangerin (Halle), par M. A. Lambert, avec une Note de MM. P. Appell et A. Lambert (Paris). La première partie contient le résumé bibliographique de la théorie des fonctions sphériques proprement dites et la Note se rapporte aux *Généralisations diverses des fonctions sphériques*. Les recherches dont il est question peuvent se résumer ainsi :

La théorie des fonctions sphériques a été généralisée à deux points de vue différents.

Certains auteurs ont étudié des fonctions d'*une variable* analogues aux polynomes X_n de Legendre, soit en considérant des polynomes définis par des dérivées d'ordre n, soit en formant des polynomes dont la fonction génératrice se rapproche de celle des polynomes X_n, soit en étudiant des

fonctions définies par des équations différentielles linéaires du type hypergéométrique à une variable, du second ordre ou d'ordre supérieur, soit enfin en appliquant la théorie des fonctions orthogonales correspondant à une fonction génératrice donnée.

D'autres ont cherché à généraliser les polynomes X_n et les fonctions semblables d'une variable par des méthodes analogues à celles qui permettent de passer des fonctions Θ d'une variable aux fonctions Θ de *deux ou plusieurs variables*, soit par la considération de potentiels dans l'hyperespace, soit par la voie des dérivées partielles, soit par celle des fonctions génératrices, soit par celle des fonctions hypergéométriques de deux variables, soit enfin par la théorie des fonctions orthogonales de plusieurs variables.

La Note contient l'indication sommaire des travaux relatifs à ces divers points de vue.

PHYSIQUE. — *Projet d'un électro-aimant susceptible de donner un champ magnétique de* 100000 *gauss*. Note de MM. **H. Deslandres** et **A. Perot**.

Nous avons exposé dans une Note récente (même Tome des *Comptes rendus*, p. 226), les premiers essais que nous avons entrepris dans une voie nouvelle pour accroître les champs magnétiques donnés par les électro-aimants de nos laboratoires. L'augmentation des champs magnétiques obtenus jusqu'ici est arrêtée par la saturation du fer et l'échauffement des bobines électriques. Nous nous sommes proposé d'accroître surtout le champ dû au seul courant électrique, et nous avons, d'une part, essayé un nouveau mode de refroidissement des bobines, qui permet l'emploi de courants plus intenses; et, d'autre part, nous avons placé les bobines elles-mêmes dans la position qui leur assure l'effet maximum, c'est-à-dire dans l'entrefer et son voisinage immédiat.

Il a été ainsi possible de réaliser des densités de courant et d'ampères-tours énormément plus grandes que celles atteintes jusqu'ici, et de dépasser de 4000 gauss (on est allé jusqu'à 51500 gauss) le champ magnétique des plus gros électro-aimants en fer.

La Note actuelle donne quelques détails inédits sur ces premiers essais et met en relief une de leurs conséquences. On peut affirmer la possibilité d'avoir des champs magnétiques beaucoup plus grands, égaux ou même

supérieurs à 100000 gauss. Il suffit d'agrandir les nouveaux appareils en conservant leurs dispositions générales et de leur fournir le supplément d'énergie électrique et de liquide réfrigérant exigé par leurs dimensions et par l'accroissement du champ.

Les premiers appareils, par raison d'économie, ont été très petits; mais, ainsi que dans tous les cas semblables, avec des modèles plus grands, la construction et l'excitation électrique sont beaucoup plus faciles. D'après la règle de Kelvin, applicable aux bobines avec ou sans fer, lorsque toutes les dimensions croissent proportionnellement, le champ magnétique reste le même, à condition que les ampères-tours croissent aussi dans le même rapport. Mais les volumes des bobines croissent comme les cubes des dimensions linéaires, et il est évidemment plus facile d'y placer les conducteurs et les réfrigérants, et d'avoir par suite des courants et des champs magnétiques plus grands.

En fait, la construction de nos premiers appareils et la concentration très forte des ampères-tours réalisée avec eux constituent une sorte de tour de force, qui nous a permis tout d'abord de dépasser tous les électro-aimants antérieurs. Or la même disposition, le même progrès appliqués à des modèles plus gros, assurent un gain encore plus grand, et il est possible de doubler les champs magnétiques obtenus jusqu'ici.

D'ailleurs les deux appareils décrits dans la Note précédente comportent des améliorations notables. Le cuivre des conducteurs était du cuivre rouge ordinaire du commerce, dont la résistivité à 10° était $2,1 \times 10^{-6}$, en ohms-centimètres. Avec du cuivre rouge plus pur ou avec de l'argent pur, la résistivité serait abaissée à $1,5$ ou $1,4 \times 10^{-6}$, et les énergies nécessaires seraient diminuées au moins dans le même rapport [1].

De plus, la disposition des conducteurs n'est pas la meilleure possible, comme nous l'annoncions dans la Note précédente. Il convient d'augmenter la proportion du métal dans les bobines et de se rapprocher des formes qui, pour un champ magnétique donné, assurent la dépense minima

---

[1] Ainsi, avec les deux bobines nouvelles à courant de pétrole de nos essais précédents, les énergies absorbées, qui, après corrections, étaient de 56 et 76 kilowatts, seraient ramenées à 42 et 57 kilowatts.

Les énergies indiquées précédemment comme absorbées par ces deux bobines étaient 58 kilowatts (1100 ampères sous 53 volts) et 80 kilowatts (1900 ampères sous 42 volts). Mais le nombre de volts avait été mesuré à une distance notable des bornes des électro-aimants; et nous avons défalqué l'énergie dépensée dans les conducteurs extérieurs aux bobines.

d'énergie. La question de la bobine optima a été étudiée dans le cas général par Kelvin et ensuite avec détails dans le cas de la bobine cylindrique par Fabry. Récemment Perot a résolu le même problème avec la bobine à section trapézoïdale qui offre certains avantages pour nos électro-aimants [1].

Avec la bobine cylindrique, l'énergie nécessaire W est donnée par la formule

$$W = \rho \eta a \frac{H^2}{K^2},$$

H étant l'intensité du champ au centre, ρ la résistivité du métal, η le coefficient de foisonnement, ou le rapport du volume de la bobine au volume réellement occupé par le métal, a le rayon du creux intérieur, et K un coefficient qui dépend seulement de la forme de la bobine. Or, dans la bobine de notre second dispositif ou de l'électro de 30^{kg}, η est égal à 3,3 et K à 0,15. Mais on peut tripler l'épaisseur du cuivre et la porter à $0^{mm},9$, l'épaisseur du pétrole étant réduite de $0^{mm},7$ à $0^{mm},6$. L'épaisseur de la bobine est alors multipliée par $\frac{3}{2}$; et si l'on multiplie sa longueur par le même nombre, K devient égal à 0,16. Les conditions générales sont alors bien meilleures; et l'on calcule que 20 kilowatts suffisent à donner au centre de l'électro modifié 10000 gauss, la résistivité du métal étant supposée égale à 2 [2]. Avec la bobine trapézoïdale et un coefficient de foisonnement un peu plus fort et égal à 2, l'énergie nécessaire pour le même champ est 20,7 kilowatts. D'ailleurs on pourrait, en s'approchant davantage des conditions optima, et en adoptant des épaisseurs ou largeurs de cuivre croissantes avec la distance au centre, diminuer encore les nombres précédents [3].

Augmentons maintenant les dimensions de l'appareil et multiplions-les

---

(1) Dans cette bobine à section trapézoïdale, les côtés parallèles du trapèze ont la direction du champ, et les côtés latéraux, étant prolongés, vont passer par le centre de l'entrefer. Avec ce type de bobine, l'épaisseur n'est pas augmentée.

(2) La résistivité du métal a été augmentée d'un tiers, par rapport à sa valeur de 0°, pour tenir compte de l'élévation de température imposée au métal par le passage du courant. L'augmentation adoptée pour la résistivité est celle indiquée par nos premiers essais à grande puissance; mais l'augmentation réelle est évidemment croissante avec l'intensité du courant.

(3) Avec des couches de métal d'épaisseur constante, la valeur maxima du coefficient K de la formule est 0,18. Lorsque les épaisseurs de métal croissent avec la distance au centre, la valeur limite de K est plus grande et peut, dans le cas présent, être estimée voisine de 0,20.

d'abord par le nombre 3. L'énergie nécessaire pour avoir avec le courant seul un champ de 10000 gauss, sera trois fois plus grande et donc égale à 60 kilowatts. Si, ensuite, on envoie un courant 6 fois plus fort, le champ atteindra 60000 gauss, mais avec une dépense d'énergie 36 fois plus grande, égale à 2160 kilowatts.

Pourra-t-on enlever la chaleur correspondante qui est considérable? Nous avons cet avantage que la section du pétrole réfrigérant croît comme le carré des dimensions linéaires, et donc est multipliée par 9. Un courant de ce pétrole de $0^{m},60$ seulement à la seconde a pu, dans notre première expérience, absorber 76 kilowatts, la température initiale du pétrole, qui était de $-25°$, étant élevée de $20°$ au plus par le passage dans la bobine. Avec une vitesse du pétrole double et la température initiale de ce pétrole abaissée à $-60°$, la puissance de refroidissement sera quadruplée et l'on pourra, avec une quantité de pétrole 18 fois plus grande, absorber 2740 kilowatts.

D'autre part, la surface du métal qui intervient directement dans le refroidissement, comporte aussi les augmentations nécessaires. Elle croît d'abord comme le carré des dimensions linéaires, et si l'on détriple le ruban de cuivre qui a $2^{mm},7$ d'épaisseur, on la multiplie encore par 3 [1]. En tenant compte de toutes les causes d'agrandissement, la surface de refroidissement est 48 fois plus grande, alors que la chaleur émise est augmentée seulement dans le rapport de 29 à 1 (ou de 2160 à 76).

Il est donc possible d'avoir 60000 gauss avec le courant seul; et si l'on ajoute l'appoint du fer qui est au moins de 40000 gauss, et est probablement supérieur à 50000 gauss, le champ final dépasse 100000 unités.

Si l'on agrandit encore les dimensions, si, par exemple, on les prend 5 fois plus grandes, les conditions sont encore plus favorables; car, si l'on compare à l'appareil agrandi trois fois, l'énergie nécessaire pour le même champ est multipliée par $\frac{5}{3}$, alors que la section du pétrole est multipliée par $\left(\frac{5}{3}\right)^2$ et la surface de refroidissement par $\left(\frac{5}{3}\right)^3$. On pourrait, toutes choses égales d'ailleurs, élever l'intensité du courant dans le rapport de $\sqrt{\frac{5}{3}}$ à 1, et donc atteindre 75000 gauss avec le courant seul.

Nous nous sommes arrêtés à l'agrandissement 5, parce que la masse de

(1) Le nombre des spires est ainsi trois fois plus grand. On pourrait diviser encore plus le ruban primitif ou augmenter encore le nombre des spires pour une même épaisseur de la bobine.

fer de l'électro est inférieure à 4 tonnes et est encore maniable ([1]). L'espace intérieur, où l'on place les appareils soumis au champ, a 14^{cm} de diamètre et peut être rendu très accessible. Les pièces polaires, qui en principe sont mobiles, seraient déplacées par des moyens mécaniques, et même pourraient tourner autour d'un axe comme les culasses des canons français. Il sera très facile d'ouvrir ou de fermer l'entrefer. De plus, on a prévu, dans les bobines elles-mêmes, deux tubes droits de 2^{cm} de diamètre, qui les traversent de part en part perpendiculairement au champ et assurent l'observation directe de l'entrefer.

L'étude des phénomènes qui dépendent du champ magnétique sera aussi commode qu'avec les électro-aimants ordinaires; et la possibilité d'avoir des champs plus intenses sera précieuse, puisque dans la plupart des cas les effets sont proportionnels au carré de l'intensité du champ.

II. Dans la recherche qui nous occupe, tout progrès réalisé dans le refroidissement des bobines assure un progrès correspondant du champ magnétique. Or le nouveau mode de refroidissement que nous avons essayé a de grands avantages. Le liquide réfrigérant entoure de tous côtés le conducteur de cuivre dont la surface, pour une même section, peut être largement augmentée ; de plus, il remplit l'office d'isolant. Dans les électro-aimants antérieurs, l'isolement est assuré par une couche solide fixe qui est un obstacle permanent à la déperdition de la chaleur. Même, dans nos expériences, la couche très mince d'oxyde qui recouvre le cuivre a paru gênante. Lorsque l'isolant est liquide et se meut avec une vitesse notable, l'enlèvement de la chaleur est plus facile, puisque la portion échauffée est remplacée rapidement par une portion froide.

De plus, d'après les mesures de résistance faites pendant le passage de forts courants électriques, le conducteur métallique a, par rapport au pétrole froid, un excès de température de plus de 100°. La température plus

---

([1]) La masse de fer est supposée semblable à celle du second dispositif de nos premiers essais. Mais d'autres formes sont acceptables, et nous en avons examiné de très différentes.

On pourrait avoir seulement deux noyaux de fer cylindriques se prolongeant l'un l'autre, comme dans les électro-aimants de Ruhmkorff ou d'Ollivier, et portant chacun à l'extrémité de l'entrefer une bobine analogue à la bobine unique de cette note. Le pétrole entre parallèle à l'axe des noyaux et sort dans une direction presque perpendiculaire; l'entrefer est accessible et de longueur variable. Avec ces deux bobines rapprochées, on pourrait avoir un champ encore plus grand, et peut-être dépasser 150000 gauss.

élevée du métal entraîne un accroissement de la résistance et de l'énergie dépensée; mais elle favorise grandement l'élimination rapide de la chaleur (1).

D'ailleurs le pétrole ordinaire, refroidi de — 20° à — 30° dans nos premières expériences, peut ne pas être le meilleur réfrigérant. L'effet refroidissant d'un courant de ce pétrole a été étudié d'abord avec quelques centimètres d'un ruban de cuivre et un appareil très simple de laboratoire, puis avec de vraies bobines et un électro-aimant. Il convient de faire les deux mêmes essais successifs avec d'autres pétroles, d'autres liquides et aux températures les plus variés.

Récemment nous avons commencé le premier de ces essais avec l'eau ordinaire qui isole assez bien. La vitesse du courant liquide étant de $0^{m},80$ par seconde, nous avons pu faire passer, dans des rubans d'argent pur, longs de quelques centimètres, 2000 ampères par millimètre carré de section (2). Le pouvoir refroidissant de l'eau est donc très élevé; mais, avec une vraie bobine, l'inconvénient de la caléfaction et de l'électrolyse est augmenté, et les gaz détonants qui sont dégagés dans le voisinage de forts courants électriques sont un danger réel.

Prochainement, avec le concours de M. Claude, nous étudierons les éthers de pétrole et l'azote liquide, à de très basses températures.

Ces premiers essais, fort utiles, seront poursuivis aisément dans le laboratoire; mais, si l'on veut réaliser l'augmentation des champs magnétiques, qui est le but principal, la difficulté est beaucoup plus grande, à cause de la grande quantité d'énergie qui est nécessaire et sous la forme électrique. Nous nous proposons d'aller chercher cette énergie là où elle est produite couramment à bon marché et de créer une installation provisoire soit à Paris, près d'une usine de distribution électrique, soit en montagne, près d'une grande chute d'eau utilisée par l'industrie électrochimique. L'achat

---

(1) Il faudra étudier méthodiquement l'influence de l'épaisseur du métal, de sa conductibilité calorifique, et aussi l'influence de la nature de la surface, de sa propreté, de son poli ou de sa rugosité.

(2) Les rubans d'argent, qui ont résisté au courant, avaient 2^{mm} de largeur, $0^{mm},1$ d'épaisseur et étaient séparés par $0^{mm},5$ de liquide.

Plus récemment, avec des rubans de cuivre disposés de la même manière, mais d'épaisseur deux fois moindre, la rupture a eu lieu seulement lorsque le courant a atteint l'intensité très forte de 4000 ampères au millimètre carré. Mais les rubans extrêmement minces ne sont pas pratiques.

On pourrait peut-être employer l'eau ordinaire comme réfrigérant, en prenant des précautions spéciales contre l'électrolyse.

d'une grande machine frigorifique peut ne pas être immédiatement nécessaire; car, avec les courants d'intensité moyenne, le pétrole à la température ordinaire peut suffire, et ensuite être refroidi par l'eau dans un échangeur. Si une température plus basse du pétrole est nécessaire, on emploiera avec un autre échangeur l'azote liquide, qui se conserve pendant plusieurs jours dans des bonbonnes transportables de 50^{l} à 100^{l}. On fera ainsi avec la dépense minima les premières expériences qui fourniront rapidement les bases de la solution la meilleure.

De toute façon, on peut affirmer dès à présent, avec les seuls résultats de nos premiers essais, la possibilité immédiate de doubler les champs magnétiques actuels, et même d'aller encore plus loin.

PHYSIQUE. — *De l'action de la pesanteur sur les mélanges gazeux, notamment dans l'atmosphère terrestre.* Note de M. G. **Gouy**.

1. La théorie cinétique nous a appris que, dans un mélange gazeux soumis à la pesanteur, en repos et à température constante, l'équilibre final est tel que chaque gaz se trouve réparti dans l'espace comme s'il existait seul, du moins tant que la pression n'est pas trop grande. Je me suis proposé d'étudier l'état variable qui précède cet équilibre ([1]).

Nous considérons un mélange de deux gaz, dont la composition ne dépend que de la hauteur z. La température absolue θ est invariable; p est la pression totale, p_1 et p_2 sont les pressions partielles des deux gaz, δ_1 et δ_2 leurs densités actuelles, Δ_1 et Δ_2 leurs densités dans les conditions normales (θ_0, p_0). L'accélération de la pesanteur est g, et D le coefficient de diffusion ordinaire.

L'équilibre hydrostatique étant réalisé, nous aurons toujours

$$g(\delta_1+\delta_2)+\frac{\partial p}{\partial z}=0. \tag{1}$$

Soit S une surface horizontale de 1^{cm^2}. Désignons par $d\varpi_1$ et $d\varpi_2$ les masses des deux gaz qui traversent S pendant le temps dt, ces quantités étant positives ou négatives suivant que leur mouvement est ascendant ou descendant.

([1]) J'ai déjà traité cette question, à propos de l'atmosphère solaire, dans le cas particulier où le mélange ne contient qu'une faible proportion de l'un des gaz (*Comptes rendus*, 8 juillet 1912).

En posant

(2) $$v_1 = \frac{1}{\delta_1}\frac{d\varpi_1}{dt}, \qquad v_2 = \frac{1}{\delta_2}\frac{d\varpi_2}{dt},$$

v_1 et v_2 sont les vitesses avec lesquelles se déplacent verticalement les deux gaz; c'est leur différence qui fera varier la composition.

2. Si g et $\frac{\partial}{\partial z}\frac{\delta_1}{\delta_2}$ étaient nuls, $v_1 - v_2$ serait nul aussi. Regardons g et $\frac{\partial}{\partial z}\frac{\delta_1}{\delta_2}$ comme des variables indépendantes très petites, dont dépend $v_1 - v_2$. Nous calculerons séparément l'effet de ces deux variables, et nous en ferons la somme pour avoir l'expression cherchée.

Premier cas. — On suppose $g = 0$, tout en conservant à p sa valeur réelle au point considéré. On a les formules ordinaires de la diffusion :

(3) $$d\varpi_1 = -\mathrm{D}\frac{\partial\delta_1}{\partial z}dt, \qquad d\varpi_2 = -\mathrm{D}\frac{\partial\delta_2}{\partial z}dt.$$

Les équations (1), (2) et (3) nous donnent

(4) $$\frac{d\varpi_1}{d\varpi_2} = -\frac{\Delta_1}{\Delta_2} \quad \text{ou} \quad \frac{v_1}{v_2} = -\frac{p_2}{p_1}.$$

On peut écrire, d'après (2) et (3),

(5) $$v_1 - v_2 = -\mathrm{D}\frac{\partial}{\partial z}\mathrm{Log}_e\frac{\delta_1}{\delta_2}.$$

Deuxième cas. — On suppose $\frac{\partial}{\partial z}\frac{\delta_1}{\delta_2} = 0$. Nous poserons

$$v_1 - v_2 = f(\delta_1, \delta_2).$$

3. Supposons maintenant que ni g ni $\frac{\partial}{\partial z}\frac{\delta_1}{\delta_2}$ ne soient nuls. Nous calculerons la fonction f pour deux valeurs données quelconques de δ_1 et δ_2, en attribuant à $\frac{\partial}{\partial z}\frac{\delta_1}{\delta_2}$ une valeur telle que le système soit en équilibre définitif. Les deux gaz étant alors répartis comme s'ils étaient seuls, on a

$$g\delta_1 + \frac{\partial p_1}{\partial z} = 0, \qquad g\delta_2 + \frac{\partial p_2}{\partial z} = 0,$$

ce qui donne

$$\frac{\partial}{\partial z}\mathrm{Log}_e\frac{\delta_1}{\delta_2} = -g\left(\frac{\delta_1}{p_1} - \frac{\delta_2}{p_2}\right);$$

en écrivant que, dans ces conditions, $v_1 - v_2 = 0$, on détermine $f(\delta_1, \delta_2)$, et l'on obtient l'expression générale

$$(6)\qquad v_1 - v_2 = -D\left[g\left(\frac{\delta_1}{p_1} - \frac{\delta_2}{p_2}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\operatorname{Log}_e\frac{\delta_1}{\delta_2}\right].$$

Pour achever de calculer v_1 et v_2, il faudrait tenir compte des petits déplacements, communs aux deux gaz, qu'éprouve la couche considérée, déplacements dus aux variations de la pression avec le temps, qui font varier le volume des diverses parties de la masse gazeuse. Il est plus simple de supposer que la surface S, à laquelle sont rapportés $d\varpi_1$ et $d\varpi_2$, n'est pas absolument fixe, mais se déplace lentement, de telle sorte que les relations (4) existent à chaque instant. Ces relations expriment qu'il passe en sens opposés à travers S un même nombre de molécules des deux gaz. Si S' est une autre surface voisine assujettie à la même loi, la couche comprise entre S et S' contiendra toujours le même nombre total de molécules.

Les vitesses v_1 et v_2 sont maintenant des vitesses relatives par rapport à S, qui ont pour expressions, d'après (4) et (6),

$$(7)\qquad v_1 = -\frac{D\left[g\left(\frac{\delta_1}{p_1} - \frac{\delta_2}{p_2}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\operatorname{Log}_e\frac{\delta_1}{\delta_2}\right]}{1 + \frac{p_1}{p_2}},$$

et de même pour v_2 en permutant les indices.

La variation de composition avec le temps de la couche considérée sera donnée par la formule

$$(8)\qquad \frac{\partial}{\partial t}\operatorname{Log}_e\frac{\delta_1}{\delta_2} = -\frac{1}{\delta_1}\frac{\partial(v_1\delta_1)}{\partial z} + \frac{1}{\delta_2}\frac{\partial(v_2\delta_2)}{\partial z}.$$

Nous avons d'ailleurs, d'après la loi généralement admise,

$$(9)\qquad D = D_0\frac{p_0}{p}\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^{\frac{7}{4}},$$

D_0 étant le coefficient de diffusion pour les conditions normales (θ_0, p_0).

4. *Établissement de la stratification.* — Supposons que le mélange rendu homogène soit abandonné au repos. Dans les premiers instants, l'équation (7) est simplifiée, puisque $\frac{\delta_1}{\delta_2}$ est indépendant de z.

Comme, dans le cas actuel, $\frac{\delta_1}{p}$, $\frac{\delta_2}{p}$ et $\frac{p_1}{p_2}$ sont indépendants de z, il en est

de même pour $d\varpi_1$ et $d\varpi_2$. Il descend donc au début, à travers toutes les couches du mélange, une même quantité du gaz 1 (en supposant $\Delta_1 > \Delta_2$), pendant qu'il remonte une quantité correspondante du gaz 2. Les couches du mélange (sauf les extrêmes) ne varient donc pas sensiblement de composition pendant quelque temps, mais peu à peu l'altération des couches extrêmes s'étend à toute la masse, jusqu'à l'équilibre final.

Remarquons que $d\varpi_1$ et $d\varpi_2$ ont leurs plus grandes valeurs absolues au début, et diminuent ensuite asymptotiquement jusqu'à zéro.

5. Comme exemple numérique, prenons un mélange de 21^{vol} d'oxygène et de 79^{vol} d'azote; l'oxygène aura l'indice 1. Nous admettrons $\theta = 220^\circ$ absolus, ce qui se rapproche des conditions de la haute atmosphère. Puisque $d\varpi_1$ ne dépend pas de p, nous pouvons faire le calcul en attribuant à p la valeur 1013260 C. G. S. (1^{atm}); à 273° abs., on a $D = 0{,}179$; à 220°, on aura $D = 0{,}1234$. Nous aurons, en $\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$,

$$d\varpi_1 = 7{,}76 . 10^{-12}\, dt.$$

La vitesse de descente $-v_1$ est inversement proportionnelle à p; pour 1^{atm}, on aura

$$-v_1 = 2{,}1 . 10^{-8} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} = 0^{\text{cm}}{,}66 \text{ par année.}$$

Ces nombres sont extrêmement petits, et c'est par siècles qu'il faut compter le temps nécessaire pour faire varier la composition notablement, au sein d'une masse gazeuse un peu étendue, abstraction faite des couches extrêmes, et aussi des pressions très basses.

Considérons, par exemple, l'atmosphère terrestre, supposée homogène, et une couche mince où la pression est $0^{\text{atm}}{,}1$. Le poids de l'air situé audessus de cette couche est d'environ 100^{g} pour 1^{cm^2} de base, soit 23^{g} d'oxygène. Calculons le temps t nécessaire pour qu'il descende au-dessous de cette couche 1 pour 100 de ce poids d'oxygène. Nous avons

$$7{,}76 . 10^{-12}\, t = 0{,}23,$$

d'où

$$t = 2{,}96 . 10^{10} \text{ sec.} = 938 \text{ années,}$$

nombres un peu trop petits, puisque nous avons attribué à $d\varpi_1$ sa valeur initiale. Au bout de ce temps, la composition de l'air dans la couche considérée n'aura encore varié que fort peu, car ce seront surtout les couches extrêmes qui seront appauvries en oxygène et enrichies en azote.

Le temps calculé se réduirait à 82 heures si nous considérions un niveau où la pression d'air serait de 10^{-6} atm.

Quelque idée qu'on se fasse de la haute atmosphère, il ne paraît guère admissible, pour bien des raisons, que les courants verticaux y soient absolument nuls. Si l'on estime que ces courants doivent renouveler l'air des couches supérieures plusieurs fois dans un siècle, on est amené à conclure que *l'action de la pesanteur sur la composition de l'air est trop lente pour produire des effets sensibles*, sauf dans la région inaccessible où la pression est comparable à celle du vide de Crookes ([1]).

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur la réduction du protoxyde de nickel et sur l'existence d'un sous-oxyde.* Note de MM. **Paul Sabatier** et **Léo Espil.**

1. Plusieurs observateurs ont affirmé l'existence d'un sous-oxyde de nickel, intermédiaire entre le métal et le protoxyde NiO.

D'après Müller, le protoxyde maintenu dans l'hydrogène entre 210° et 214° donne lieu à une réduction d'abord rapide, puis ralentie, qui s'arrête à un *sous-oxyde* Ni^2O. La perte de poids trouvée a varié de 11 à 14 pour 100 (perte calculée pour Ni^2O, 10,7; pour Ni^3O, 14,3). Ce ne serait qu'au-dessus de 270° que la réduction pourrait être poursuivie jusqu'au nickel ([2]).

Un résultat analogue a été indiqué par Bell dans la réduction ménagée par l'oxyde de carbone ([3]).

Plus récemment, au cours d'un travail d'ensemble sur la réduction des oxydes métalliques, von Glaser a annoncé que la réduction du protoxyde de nickel par l'hydrogène commence vers 198°, et que pour toutes les températures comprises entre 198° et 339°, la réduction s'arrête au sous-oxyde Ni^2O ([4]). Toutefois il convient de remarquer que ces conclusions ne sont appuyées que sur une expérience unique portant sur $0^g,2306$ de protoxyde : au surplus, les progrès de la réduction étant évalués par la diminution de poids de l'oxyde, l'accès inévitable de l'air au moment de la pesée a pu produire une oxydation superficielle du métal qui pouvait être libéré, et il semble difficile de tirer quelque déduction certaine des variations de poids ainsi mesurées.

Nous devons aussi signaler la formation indiquée par Moore d'un sous-oxyde hydraté

([1]) Les analyses, très rares, d'échantillons d'air pris au-dessus de 10^{km} n'ont pas donné d'indications nettes d'une variation de composition, tandis que la présence de la raie verte du krypton, gaz très lourd, dans la lumière des plus hautes aurores boréales, est peu favorable à l'hypothèse de la stratification.

([2]) Müller, *Ann. Pogg.*, t. CXXXVI, 1869, p. 59.

([3]) Bell, *Chem. News*, t. XXIII, 1871, p. 258.

([4]) Von Glaser, *Zeits. f. anorg. Chem.*, t. XXXVI, 1903, p. 18.

de formule Ni^3O, H^2O, qui aurait été produit à partir du cyanure double de nickel et de potassium (1).

Tout récemment, Bedford et Erdmann ont attribué à la formation d'un sous-oxyde de nickel colloïdal stable les catalyses d'hydrogénation réalisées sur les matières grasses par l'hydrogène en présence de divers oxydes de nickel. Ce sous-oxyde provenant de la réduction incomplète des oxydes serait, d'après ces auteurs, un catalyseur, agissant plus vite que le nickel métallique et à température plus basse (2).

Notons, en passant, que les expériences faites par l'un de nous sur ce procédé l'ont conduit à admettre dans tous les cas la formation de nickel métallique libre suffisant pour expliquer la catalyse.

2. Nous avons étudié la réduction du protoxyde de nickel par l'hydrogène, en évaluant, non pas la perte de poids subie par l'oxyde, mais le poids d'eau formée par la réduction progressive.

Un poids connu d'oxyde de nickel est placé dans une longue nacelle d'aluminium au centre d'un tube horizontal de verre, que parcourt un courant d'hydrogène rigoureusement pur et sec. Ce tube est disposé dans un bloc de bronze chauffé par une rampe à gaz, dont un régulateur de température, maintenu dans le bloc parallèlement au tube, règle le débit. La température qui demeure ainsi tout à fait constante est indiquée par un thermomètre couché dans le tube, le réservoir étant juxtaposé à la nacelle.

L'hydrogène fourni par un appareil continu de grandes dimensions est purifié par la méthode décrite par l'un de nous (3). Pour le débarrasser des traces d'oxygène qui ont pu pénétrer par diffusion au travers des tubes de caoutchouc, on le fait passer à travers un deuxième tube à tournure de cuivre chauffé au rouge sombre, puis dans des tubes en U contenant du chlorure de calcium granulé et du calcium métallique, destinés à arrêter les traces de vapeur d'eau produites dans le tube à cuivre. Toutes les jonctions à partir de ce dernier jusqu'au tube à oxyde sont réalisées par des tubes de plomb avec masticage des bouchons.

Nous nous sommes assurés par des essais directs pratiqués à la sortie du tube à oxyde qu'aucune dose appréciable de vapeur d'eau n'est apportée dans ce dernier par le passage de l'hydrogène prolongé pendant un grand nombre d'heures.

L'hydrogène qui a passé sur l'oxyde est dirigé par la partie étirée du tube

(1) Th. Moore, *Chem. News*, t. LXXI, 1895, p. 82.

(2) Bedford et Erdmann, *Journ. Soc. phys.-chim. russe*, t. XLV, 1913, p. 616.

(3) Paul Sabatier, *La Catalyse en Chimie organique*, Paris, 1913, p. 48.

dans un tube en U taré A, à robinets soigneusement rodés, garni de ponce sulfurique, qui arrête la vapeur d'eau issue de la réduction. Un deuxième tube en U à ponce sulfurique, placé à la suite, indique, par l'invariabilité de son poids, que l'absorption de la vapeur d'eau par le premier tube en U a été totale. Du second tube en U, le gaz passe, avant de s'échapper, dans un barboteur à acide sulfurique, qui peut être relié avec un petit volumètre à eau, permettant à un moment quelconque d'évaluer grossièrement le débit du gaz qui s'échappe, afin de maintenir aussi constante que possible la vitesse de l'hydrogène pendant toute la durée de l'expérience.

Après un temps connu, le tube A est rapidement enlevé pour être pesé, et remplacé de suite par un autre tube semblable taré A′, qui recueillera la vapeur d'eau pendant une seconde période. Le tube A′ sera de même remplacé par le tube A, et ainsi de suite, le tube A recevant la vapeur d'eau pendant toutes les périodes de rang impair, le tube A′, pendant toutes les périodes de rang pair. Le remplacement du tube A par le tube A′ ou réciproquement ne dure qu'une faible fraction de minute, et par suite les pertes de vapeur d'eau, qui peuvent avoir lieu par le fait de l'hydrogène qui sort pendant ce remplacement, sont tout à fait négligeables.

Avant de peser les tubes A et A′, on a soin d'y remplacer l'hydrogène par l'air, en y faisant passer un courant d'air tout à fait sec.

3. Pour un même poids d'oxyde, la vitesse de réduction dépend de trois facteurs distincts : la nature de l'oxyde, la vitesse du courant d'hydrogène et la température.

1° *Influence de la nature de l'oxyde.* — L'oxyde de nickel est réduit d'autant plus lentement qu'il a été préparé à température plus haute.

Les oxydes que nous avons étudiés ont été préparés par calcination du nitrate de nickel pur. La plupart des essais ont été effectués avec un oxyde obtenu par calcination au rouge sombre vers 550°, prolongée jusqu'à élimination complète des vapeurs nitreuses. Mais nous avons également opéré avec un oxyde qui avait été soumis dans un moufle à une calcination de longue durée au rouge vif.

Tous ces oxydes obtenus par calcination à l'air sont plus ou moins peroxydés, c'est-à-dire sont souillés par une petite proportion de sesquioxyde qui les noircit. Nous avons reconnu que, dans tous les cas, quelques instants de chauffe dans l'hydrogène au-dessous de 150° suffisent pour les ramener à l'état de protoxyde jaune verdâtre.

C'est de cette dernière forme que nous sommes partis dans tous les essais.

En opérant sur des poids égaux d'oxydes, répartis dans la même nacelle, à la même température de 240°, dans un courant d'hydrogène de même vitesse (24^{cm^3} par minute), le *coefficient de réduction*, c'est-à-dire la proportion d'oxyde réduit pour 100, a été en 3 heures :

Oxyde moyen	93.0
Oxyde très calciné	32,8

Les différences sont encore plus accusées quand on opère à des températures assez basses pour que la réduction n'ait lieu que très lentement, même pour l'oxyde le plus léger. Ainsi à 155°, le coefficient de réduction après 96 heures a été :

Oxyde léger	56
Oxyde calciné	2,5

2° *Influence de la vitesse de l'hydrogène.* — La rapidité du renouvellement de l'hydrogène sur la surface de l'oxyde facilite la réduction. Avec un même oxyde à la température de 240°, les coefficients de réduction observés après 2 heures de chauffe ont été :

Vitesse de l'hydrogène par minute.	Coefficients de réduction.
6^{cm^3}	44,5
17	65
24	77,5

Ces nombres indiquent que, pour ces vitesses faibles, *la réduction est sensiblement proportionnelle à la vitesse de l'hydrogène*.

3° *Influence de la température.* — Comme on pouvait le prévoir, l'élévation de température accélère énormément la réduction.

Il est impossible de fixer une température inférieure limite de la réduction, relative à chaque sorte d'oxyde, parce que la fixation de cette limite varie selon la sensibilité de la méthode qui sert à constater la réduction.

4. *Marche de la réduction.* — Le même oxyde a été soumis à la réduction aux diverses températures avec une vitesse constante de l'hydrogène, voisine de 17^{cm^3} par minute.

Citons une expérience faite à 220° :

Poids d'oxyde : 1g,116.

Temps.	Poids d'eau recueillie.	Coefficients de réduction.
h	g	
1	0,040	14,9
4	0,155	57,6
5.30m	0,208	77,4
6.30	0,210	78,0
7.30	0,215	79,9
22	0,268	99,6

Si, prenant comme abscisses les temps, on représente par des ordonnées les coefficients de réduction, leur variation est figurée par une courbe formée de deux branches, l'une et l'autre de faible courbure qui se raccordent vers l'ordonnée 77. La première branche diffère peu d'une droite de coefficient angulaire 14. La seconde est voisine d'une droite peu inclinée sur l'axe des températures, de coefficient angulaire environ 14 fois moindre. Cette forme conduit donc à penser que la réduction produit rapidement un *sous-oxyde* qui n'est réduit lui-même qu'avec une vitesse beaucoup plus faible.

Les résultats obtenus aux autres températures sont analogues, et peuvent de même être figurés par un assemblage de deux droites dont la seconde est très peu inclinée : mais à mesure que la température s'élève et que la réduction exige moins de temps, le raccordement anguleux des deux branches est peu à peu remplacé par une courbe de plus en plus étendue.

Ainsi à 250°, nous avons obtenu :

Temps.	Coefficients de réduction.
h m	
0.30	30
1	52
1.30	78,9
2	87
2.30	92,5
3	95,3
15	100

L'inclinaison relative des premières branches donne une comparaison intéressante des vitesses initiales de réduction aux diverses températures. Le Tableau suivant indique les coefficients angulaires des droites voisines des branches initiales, ainsi que les logarithmes de ces coefficients :

Températures.	Coefficients angulaires.	Logarithmes.
190°	3,5	0,544
220	14,5	1,161
230	19	1,279
240	32	1,505
250	52	1,716

En représentation graphique, les points figurant les valeurs des logarithmes sont situés très près de part et d'autre de la droite qui joint les points extrêmes. On peut donc conclure que la variation de ces logarithmes est linéaire, et que tout au moins entre 190° et 250°, pour le départ de la réduction, *la vitesse de réduction est une fonction exponentielle de la température*.

5. Nous avions espéré qu'en opérant à températures très basses il serait possible d'en atteindre une où la réduction pourrait être limitée au premier stade, c'est-à-dire à un sous-oxyde non atteint à cette température. C'est ce qui se produit pour le sesquioxyde Ni^2O^3, ramené facilement par réduction à 130° au protoxyde irréductible à cette température. Notre espoir a été déçu. Un oxyde peu calciné a été maintenu à 155° dans l'hydrogène (vitesse moyenne de 20^{cm^3} par minute). La réduction n'a lieu que très lentement. On a obtenu comme coefficients de réduction :

Temps.	Coefficients de réduction.
48 heures	27,0
96	56,0
137	76,6
146	77,4
163	79,0

On constate donc une première phase où la variation du coefficient de réduction est représentée par une courbe voisine de la droite de coefficient angulaire 0,58 ; puis une deuxième phase, de réduction très lente, où la petitesse des masses d'eau recueillies ne permet pas une évaluation précise de la vitesse, mais dans laquelle la réduction continue à se poursuivre, quoique avec une lenteur excessive. Le sous-oxyde formé tout d'abord est lui-même réductible, et celui qui a été produit pendant la première phase a dû nécessairement subir, pendant cette première phase, une certaine réduction et fournir un peu de métal.

Il doit donc y avoir, dès le début de la réduction, à côté du sous-oxyde,

une certaine dose de nickel libre. Pour le démontrer, nous avons soumis à la réduction un certain poids d'oxyde à 175°. Nos essais antérieurs avaient établi qu'après 10 heures, dans les conditions choisies, le coefficient de réduction était inférieur à 10. Ayant laissé refroidir jusqu'à 50° dans le courant d'hydrogène, nous avons remplacé ce dernier gaz par de l'oxyde de carbone pur et sec. Il s'est produit aussitôt du *nickel-carbonyle*, facilement caractérisé par l'anneau miroitant de nickel qu'il a donné dans le tube de sortie du gaz convenablement chauffé. Sa formation est la preuve de l'existence de nickel libre dans la matière si incomplètement réduite.

6. *Nature du sous-oxyde.* — La marche de la réduction nous a amenés à conclure à l'existence d'un palier dans cette réduction, et à l'expliquer par la production d'un sous-oxyde, non pas irréductible, mais beaucoup plus lentement réduit que le protoxyde. Il n'est pas pratiquement possible d'arrêter la réduction à ce sous-oxyde. L'examen des courbes de réduction nous a conduits à penser que ce palier instable est constitué par un *sous-oxyde tétranickelique* qui serait Ni^4O, et dont la formation complète correspondrait au coefficient de réduction 75. Un argument en faveur de l'existence de ce composé intermédiaire peut être trouvé dans l'existence du *nickel-nitré* $Ni^4(NO^2)^2$, analogue au cobalt et au cuivre nitrés que l'un de nous a préparé autrefois avec M. Senderens par l'action directe du peroxyde d'azote sur le nickel, le cobalt ou le fer, réduits de leurs oxydes (1).

Mais contrairement aux résultats rappelés au début de cette Note, cet oxyde est lentement réductible par l'hydrogène aux mêmes températures que le protoxyde, et par suite la réduction de ce dernier, pratiquée aux diverses températures, conduit de suite à une certaine dose de nickel libre et *finit toujours par être totale.*

7. *Influence de l'humidité.* — Nous avons pu vérifier que l'hydrogène humide réduit l'oxyde de nickel plus lentement que quand il est sec. La présence de la vapeur d'eau, produit de la réduction, ralentit cette réduction. Pour le démontrer, nous avons disposé, parallèlement, dans les deux cavités parallèles d'un bloc de bronze chauffé à température constante supérieure à 250°, deux tubes identiques contenant, sur une même longueur, poids

(1) Paul Sabatier et Senderens, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, t. VII, 1896, p. 348.

égaux du même oxyde de nickel, et nous avons fait passer dans ces deux tubes avec la même vitesse deux courants d'hydrogène, l'un sec, l'autre saturé d'humidité à la température ordinaire. A la sortie, les gaz étaient dirigés respectivement dans deux longs tubes verticaux où l'eau de réduction pouvait se condenser pour être recueillie dans deux tubes gradués égaux. L'hydrogène sec sortait humide et de ce chef emportait une partie importante de l'eau formée. L'hydrogène humide devait au contraire l'abandonner tout entière. Or, on constate que la hauteur d'eau recueillie est notablement plus grande du côté de l'hydrogène sec.

D'ailleurs, si l'on interrompt l'opération, l'aspect de l'oxyde montre bien nettement que la réduction est plus avancée du côté sec. Pratiquement, il y a donc utilité à dessécher l'hydrogène destiné à réduire les oxydes.

Cette influence retardatrice de la vapeur d'eau ne peut être attribuée à une action inverse qu'elle exercerait sur le métal, action qui n'a pas lieu : elle est sans doute le résultat d'une sorte de frottement chimique que les produits d'une réaction exercent sur les facteurs de cette réaction. L'un de nous a constaté jadis que la décomposition spontanée du persulfure d'hydrogène est moins rapide quand on y maintient l'hydrogène sulfuré issu de cette destruction, et qu'on l'accélère en éliminant ce gaz dissous (1).

M. **H. Le Chatelier** fait hommage à l'Académie d'un Volume qu'il vient de publier sous le titre : *La silice et les silicates*.

M. **A. Laveran** fait hommage à l'Académie du Tome VI du *Bulletin de la Société de Pathologie exotique*.

COMMISSIONS.

L'Académie procède, par la voie du scrutin, à la nomination de Commissions de prix chargées de juger les concours de 1914 et de Commissions chargées de proposer des questions de prix.

---

(1) Paul Sabatier, *Comptes rendus*, t. 100, 1885, p. 1586.

Le dépouillement du scrutin donne les résultats suivants :

Prix Serres. — MM. Bouchard, Perrier, d'Arsonval, Laveran, Delage, Dastre, Henneguy.

Ont obtenu ensuite le plus de suffrages : MM. Roux, Bouvier.

Prix Jean-Jacques Berger. — MM. de Freycinet, Darboux, Gautier, Émile Picard, Carnot, Violle, Tisserand.

Ont obtenu ensuite le plus de voix : MM. Grandidier, Roux.

Commission chargée de présenter une *Question de prix Alhumbert*, pour l'année 1917. — MM. Ph. van Tieghem, Darboux, Lippmann, Gautier, Émile Picard, d'Arsonval, Lacroix.

Ont obtenu ensuite le plus de voix : MM. Guignard, Laveran.

Commission chargée de présenter une *Question de grand prix des Sciences physiques*, pour l'année 1917. — MM. Ph. van Tieghem, Gautier, Perrier, d'Arsonval, Guignard, Bouvier, Lacroix.

Ont obtenu ensuite le plus de voix : MM. Roux, Charles Richet.

CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Henri Bresson, *La houille verte dans l'Eure.*

2° O. Dony-Hénault, H. Gall, Ph.-A. Guye, *Principes et applications de l'Électrochimie.* (Présenté par M. H. Le Chatelier.)

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur les transformations générales des systèmes différentiels.* Note de M. **P.-E. Gau.**

Les transformations générales, dont j'ai signalé une propriété fondamentale ([1]), permettent dans certains cas de simplifier les systèmes différentiels. J'ai indiqué une équation aux dérivées partielles du second ordre

([1]) *Comptes rendus*, t. 156, p. 116.

qu'une telle transformation permet de rendre linéaire; voici d'autres exemples plus importants.

Considérons un système en involution de deux équations du second ordre linéaires; on peut toujours l'écrire sous la forme

$$(1)\qquad \begin{cases} r + u(x, y, z, p, q)s + \mathrm{A}(x, y, z, p, q) = 0, \\ t + \dfrac{s}{u(x, y, z, p, q)} + \mathrm{B}(x, y, z, p, q) = 0, \end{cases}$$

les fonctions u, A, B et leurs dérivées vérifiant deux relations particulières [1] : dans ces conditions seulement le système (1) ne se ramène pas à un système d'équations différentielles ordinaires.

On peut se proposer de transformer ce système en une équation *unique* du premier ordre, en posant

$$(2)\qquad z' = \varphi(x, y, z, p, q), \qquad p' = a(x, y, z, p, q), \qquad q' = b(x, y, z, p, q).$$

En effet, cette transformation ne s'applique qu'aux intégrales du système

$$(3)\qquad \begin{cases} a(x, y, z, p, q) = \dfrac{\partial\varphi}{\partial x} + p\dfrac{\partial\varphi}{\partial z} + r\dfrac{\partial\varphi}{\partial p} + s\dfrac{\partial\varphi}{\partial q}, \\ b(x, y, z, p, q) = \dfrac{\partial\varphi}{\partial y} + q\dfrac{\partial\varphi}{\partial z} + s\dfrac{\partial\varphi}{\partial p} + t\dfrac{\partial\varphi}{\partial q}, \end{cases}$$

et ce système coïncidera avec le proposé si l'on a

$$(4)\qquad \frac{\partial\varphi}{\partial q} = u\frac{\partial\varphi}{\partial p}, \qquad a = \frac{\partial\varphi}{\partial x} + p\frac{\partial\varphi}{\partial z} - \mathrm{A}\frac{\partial\varphi}{\partial p}, \qquad b = \frac{\partial\varphi}{\partial y} + q\frac{\partial\varphi}{\partial z} - \mathrm{B}\frac{\partial\varphi}{\partial q}.$$

On voit que a et b sont entièrement déterminés quand on connaît la fonction φ; il faudra choisir celle-ci de manière à avoir $\dfrac{\partial\varphi}{\partial q} = u\dfrac{\partial\varphi}{\partial p}$; en outre, pour obtenir le résultat voulu, il faudra qu'on puisse éliminer z, p, q entre les équations (2), c'est-à-dire que $\dfrac{\mathrm{D}(\varphi, a, b)}{\mathrm{D}(z, p, q)} = 0$.

Le calcul montre que cette dernière équation se décompose en deux si l'on tient compte des relations existant entre u, A, B. De sorte que, en prenant pour inconnue auxiliaire $\lambda = \dfrac{\partial\varphi}{\partial z} : \dfrac{\partial\varphi}{\partial p}$, cette quantité doit satisfaire

[1] Goursat, *Leçons sur l'intégration des équations aux dérivées partielles du second ordre*, t. II, p. 66.

à l'un ou l'autre des systèmes

$$(5)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial\lambda}{\partial x}+p\dfrac{\partial\lambda}{\partial z}+u\left(\dfrac{\partial\lambda}{\partial y}+q\dfrac{\partial\lambda}{\partial z}\right) \\ \qquad -A\dfrac{\partial\lambda}{\partial p}+\lambda\dfrac{\partial A}{\partial p}-Bu\dfrac{\partial\lambda}{\partial q}+u^2\lambda\dfrac{\partial B}{\partial p}-\dfrac{\partial A}{\partial z}-u^2\dfrac{\partial B}{\partial z}-\lambda^2=0, \\ \dfrac{\partial u}{\partial z}+u\dfrac{\partial\lambda}{\partial p}=\lambda\dfrac{\partial u}{\partial p}+\dfrac{\partial\lambda}{\partial q}; \end{cases}$$

$$(6)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial u}{\partial x}+p\dfrac{\partial u}{\partial z}-A\dfrac{\partial u}{\partial p}+u\dfrac{\partial A}{\partial p}-\dfrac{\partial A}{\partial q}=\lambda u, \\ \dfrac{\partial u}{\partial z}+u\dfrac{\partial\lambda}{\partial p}=\lambda\dfrac{\partial u}{\partial p}+\dfrac{\partial\lambda}{\partial q}. \end{cases}$$

Si l'un ou l'autre de ces systèmes est compatible, la transformation est possible et φ est déterminé par les équations compatibles

$$\frac{\partial\varphi}{\partial q}=u\frac{\partial\varphi}{\partial p}, \qquad \frac{\partial\varphi}{\partial z}=\lambda\frac{\partial\varphi}{\partial p}.$$

Il est à remarquer qu'on n'a besoin que d'une solution particulière de ces divers systèmes pour effectuer la transformation.

Cette transformation conserve les caractéristiques, comme il est facile de le démontrer : celles du système en involution correspondent à celles de l'équation du premier ordre.

Il est un cas où l'on a en évidence une solution du système (5) : c'est celui où l'on a

$$\frac{\partial u}{\partial z}=\frac{\partial A}{\partial z}+u^2\frac{\partial B}{\partial z}=0,$$

et plus particulièrement encore si l'on a

$$(7)\qquad \frac{\partial u}{\partial z}=\frac{\partial A}{\partial z}=\frac{\partial B}{\partial z}=0;$$

le système (5) admet alors la solution $\lambda=0$ et la transformation est toujours possible.

Exemple I. — Considérons le système qui définit les surfaces à courbure totale constante, découvertes par Serret, dont les génératrices rencontrent le cercle imaginaire à l'infini [1] :

$$(S)\qquad \begin{cases} r+us+u(1+p^2+q^2)=0, \\ t+\dfrac{s}{u}-\dfrac{1}{u}(1+p^2+q^2)=0, \end{cases}$$

[1] *Journal de Liouville*, t. XIII, 1848, p. 361.

avec

$$1 + u^2 + (p + uq)^2 = 0.$$

Nous sommes dans le cas particulier (7); on peut poser ici

$$z' = u(p, q),$$
$$p' = u \frac{p + qu}{u + pq + uq^2}(1 + p^2 + q^2), \qquad q' = -\frac{p + qu}{u + pq + uq^2}(1 + p^2 + q^2),$$

et les surfaces transformées sont intégrales de l'équation

(S') $$p' + q'z' = 0.$$

A toute surface (S) correspond une surface (S'), mais à chaque surface (S') correspondent une infinité de surfaces (S) dépendant d'une constante arbitraire : p et q sont seuls déterminés.

Dans cet exemple, comme dans le suivant, on voit facilement la correspondance des caractéristiques.

Exemple II. — On peut même ramener, dans certains cas, une équation du *second* ordre à une équation du *premier* ordre contenant une fonction arbitraire. Soit

(S) $$r - qs + pt = 0.$$

Si l'on appelle m une racine de l'équation caractéristique $m^2 + qm + p = 0$, l'équation (S) admet l'intégrale intermédiaire $t + \frac{s}{m} + \psi(m) = 0$, ψ étant une fonction arbitraire [1].

Le système

$$r + ms - p\psi(m) = 0,$$
$$t + \frac{s}{m} + \psi(m) = 0$$

est donc en involution, quelle que soit la fonction ψ, et l'on est encore dans le cas (7). On peut poser, par exemple,

$$z' = m(p, q), \qquad p' = -\frac{p\psi(m)}{2m + q}, \qquad q' = \frac{m\psi(m)}{2m + q},$$

et l'élimination donne l'équation transformée

(S') $$p' + q'z' - z'\psi(z') = 0.$$

A toute intégrale de (S') correspondent une infinité d'intégrales de (S), données par la transformation inverse

$$p = -z'\frac{p'}{q'}, \qquad q = -z' + \frac{p'}{q'}.$$

On voit que l'équation (S') peut jouer, par rapport à (S), un rôle tout à fait analogue à celui d'une intégrale intermédiaire du premier ordre, malgré que cette équation (S) n'admette pas de pareille intégrale.

---

[1] GOURSAT, *loc. cit.*, p. 125.

MÉCANIQUE ANALYTIQUE. — *Un théorème général sur le problème des n corps.* Note de M. G. **Armellini.**

1. Théorème. — *Considérons le mouvement de n points qui s'attirent selon la loi de Newton. Supposons qu'on sache d'avance que tous les chocs soient simples, c'est-à-dire que deux corps seulement puissent se choquer dans un même instant. Supposons aussi qu'on sache que le temps compris entre deux chocs consécutifs demeure toujours supérieur à une certaine quantité. Je dis qu'on peut choisir une variable indépendante* T *d'une façon telle que les* $3n$ *coordonnées et le temps soient des fonctions de* T, *holomorphes et réelles aux environs de l'axe réel. On saura alors, à l'aide de méthodes bien connues, représenter le mouvement pour tous les temps, quels que soient d'ailleurs les chocs qui vont se produire. Le problème est donc résolu au point de vue analytique.*

2. Appelons $m_1, m_2, \ldots, m_n$ les masses des n points et r_{hl} la distance de m_h à m_l. Appelons aussi R une fraction dont le numérateur est le produit des $n\frac{n-1}{2}$ distances, et dont le dénominateur est égal à leur somme élevée à la puissance $n\frac{n-1}{2}$.

$$\text{(1)} \qquad R = \frac{r_{12}r_{13}\ldots r_{1n}r_{23}\ldots r_{2n}\ldots r_{n-1,n}}{\{r_{12}+r_{13}+\ldots+r_{1n}+r_{23}+\ldots+r_{2n}+\ldots+r_{n-1,n}\}^{n\frac{n-1}{2}}},$$

Prenons une nouvelle variable T en posant

$$\text{(2)} \qquad T = \int_0^t \frac{dt}{R}.$$

Je dis qu'à chaque valeur finie et réelle t_1 de t correspond une valeur aussi réelle et finie T_1 de T. Pour le démontrer, faisons varier t, en passant toujours par des valeurs réelles, de $t = 0$ jusqu'à $t = t_1$; notre assertion est évidente si dans cet intervalle il n'y a pas de chocs. Dans le cas contraire, appelons τ l'instant où a lieu le premier choc. A cause de nos hypothèses dans l'instant τ, une seulement des distances, par exemple r_{hl}, pourra s'annuler. On pourra alors démontrer :

I. Que la vitesse angulaire du rayon vecteur r_{hl} demeure finie lorsque t tend vers τ;

II. Qu'on a

(3) $$\lim_{t=\tau}\left\{\sqrt{r_{hl}}\frac{dr_{hl}}{dt}\right\}=-\sqrt{2(m_h+m_l)}.$$

En choisissant alors χ suffisamment petite, on aura, dans l'intervalle de $\tau-\chi$ jusqu'à τ,

(4) $$\left|\sqrt{r_{hl}}\frac{dr_{hl}}{dt}\right|>\left|\sqrt{m_h+m_l}\right|,$$

d'où

(5) $$|\mathrm{T}(\tau)|<\left|\int_0^{\tau-\chi}\frac{dt}{\mathrm{R}}\right|+\left|\frac{1}{\sqrt{m_h+m_l}}\int_{t=\tau-\chi}^{t=\tau}\frac{\sqrt{r_{hl}}}{\mathrm{R}}dr_{hl}\right|.$$

La fonction à intégrer est toujours finie, sauf à la limite supérieure de la deuxième intégrale, où elle devient infinie d'ordre $\frac{1}{2}$, à l'égard de r_{hl}; $\mathrm{T}(\tau)$ sera donc fini. Or, selon nos hypothèses, de $t=0$ jusqu'à $t=t_1$ il n'y a qu'un nombre fini de chocs; donc $\mathrm{T}(t_1)$ est aussi fini. Mais pour chaque valeur réelle de t nous avons

$$\mathrm{R}\leqq\left(n\frac{n-1}{2}\right)^{\frac{1-n}{2}n};$$

d'où

$$\lim_{t=\pm\infty}\mathrm{T}=\pm\infty.$$

De tout cela il résulte qu'à chaque valeur finie et réelle de T correspond une valeur finie et réelle de t et qu'on a $\lim_{\mathrm{T}=\pm\infty}t=\pm\infty$.

3. Cela, bien entendu, si dans l'instant t_1 il n'y a pas de chocs, les $3n$ coordonnées et le temps t seront certainement développés en séries de puissances de $\mathrm{T}-\mathrm{T}_1$. Supposons, au contraire, que la distance r_{hl} soit nulle dans l'instant t_1 (c'est-à-dire pour $\mathrm{T}=\mathrm{T}_1$), et commençons par étudier le mouvement du point m_h. Prenons une variable auxiliaire ϑ donnée par l'équation

(6) $$\frac{d\vartheta}{d\mathrm{T}}=\frac{\mathrm{R}}{r_{hl}}\qquad(\vartheta=0 \text{ pour } \mathrm{T}=\mathrm{T}_1).$$

Prenons aussi pour origine m_l et appelons ξ, η, ζ les coordonnées relatives de m_h et posons

(7) $$\left\{\begin{aligned}&\frac{1}{r}\frac{d\xi}{d\vartheta}\frac{dr}{d\vartheta}-(m_h+m_l)\frac{\xi}{r}=\lambda,\\&\frac{1}{r}\frac{d\eta}{d\vartheta}\frac{dr}{d\vartheta}-(m_h+m_l)\frac{\eta}{r}=\mu,\\&\frac{1}{r}\frac{d\zeta}{d\vartheta}\frac{dr}{d\vartheta}-(m_h+m_l)\frac{\zeta}{r}=\nu,\end{aligned}\right.$$

où nous avons écrit, pour simplifier, r à la place de r_{hl}.

A l'aide des théorèmes des forces vives et du centre de gravité, on parviendra aisément au système suivant :

$$(8)\quad \begin{cases} \dfrac{d\xi}{d\vartheta}=\xi', & \dfrac{d\xi'}{d\vartheta}=\lambda+\mathrm{K}_1, & \dfrac{d\lambda}{d\vartheta}=\xi'\,\mathrm{L}_1+(\xi\xi'+\eta\eta'+\zeta\zeta')\,\mathrm{M}_1,\\ \dfrac{d\eta}{d\vartheta}=\eta', & \dfrac{d\eta'}{d\vartheta}=\mu+\mathrm{K}_2, & \dfrac{d\mu}{d\vartheta}=\eta'\,\mathrm{L}_2+(\xi\xi'+\eta\eta'+\zeta\zeta')\,\mathrm{M}_2,\\ \dfrac{d\zeta}{d\vartheta}=\zeta', & \dfrac{d\zeta'}{d\vartheta}=\nu+\mathrm{K}_3, & \dfrac{d\nu}{d\vartheta}=\zeta'\,\mathrm{L}_3+(\xi\xi'+\eta\eta'+\zeta\zeta')\,\mathrm{M}_3, \end{cases}$$

où K_i, L_i, M_i sont des fonctions développables selon les puissances de ξ, η, ζ, ... On pourra voir, sans difficulté, que l'on a, pour $\vartheta=0$,

$$(9)\qquad \xi=\eta=\zeta=\xi'=\eta'=\zeta'=0.$$

et que λ, μ, ν tendent vers des valeurs finies. Les équations (8) nous montrent alors que les neuf quantités ξ, η, ζ, ξ', η', ζ', λ, μ, ν sont des fonctions holomorphes de ϑ aux environs de $\vartheta=0$. On démontrera aussi sans difficulté que les coordonnées des autres points, qui ne se choquent pas dans l'instant t_1, jouissent de la même propriété. Et alors les équations (2) et (6) nous montrent que les $3n$ coordonnées et les temps t sont développables en séries convergentes selon les puissances de $\mathrm{T}-\mathrm{T}_1$. Faisons alors varier T de 0 jusqu'à ∞; t variera aussi de 0 jusqu'à ∞. Nous pourrons donc, en employant la méthode de l'étoile de M. Mittag-Leffler, représenter le mouvement dans toute sa durée par des développements de forme connue. C. Q. F. D.

4. Cas particuliers. — α. *Le problème des trois corps dans le cas où le moment de la quantité de mouvement du système n'est pas nul.* — Cette condition, en effet, est dans ce cas suffisante (pas nécessaire) pour l'accomplissement de nos deux conditions. M. Sundman [1], toutefois, a obtenu l'holomorphisme non seulement aux environs de l'axe réel, mais aussi dans une bande de largeur constante.

β. *Le problème de mouvement d'un point attiré par plusieurs centres fixes*, dont j'ai donné la solution dans un Mémoire qui paraîtra prochainement. Dans le cas où les centres fixes appartiennent à une même droite, il n'y a plus besoin d'aucune variable auxiliaire; on peut alors, comme M. Volterra

(1) Sundmann, *Acta math.*, t. XXXVI.

l'a démontré (¹), avoir directement les développements des coordonnées en fonction du temps.

HYDRODYNAMIQUE. — *Sur la résistance hydrodynamique dans le mouvement non uniforme.* Note de M. **Victor Vâlcovici**, présentée par M. P. Appell.

1. On sait que, d'après le principe de relativité, il n'est pas possible de nous apercevoir d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme à laquelle nous prenons part; par contre, si la translation cesse d'être uniforme, les forces changent de grandeur, de sorte qu'on pourrait prévoir que la résistance qu'oppose un fluide au mouvement non uniforme d'un solide n'est pas égale à l'action du même fluide exercée sur le même solide, si celui-ci reste en repos et le fluide exécute le mouvement en sens contraire.

Soit en effet $\varphi(x, y, z, t)$ le potentiel des vitesses rapporté à un trièdre rectangulaire $Oxyz$ d'axes de coordonnées, invariablement lié au solide Σ terminé par la surface S, dans le cas où, le fluide étant en repos à l'infini, le solide Σ est animé d'un mouvement de translation rectiligne dans le sens de l'axe Ox de vitesse U. On aura pour la pression, d'après l'équation de Bernoulli :

$$p_1 = -\rho\left[\frac{u^2+v^2+w^2}{2}+\frac{\partial\varphi_1}{\partial t}+F(t)\right]; \tag{1}$$

si ρ est la densité du fluide, u, v, w les projections de la vitesse sur les trois axes de coordonnées, $F(t)$ une fonction dépendant seulement du temps et $\varphi_1(\xi, \eta, \zeta, \lambda)$ le potentiel des vitesses, rapporté à un système d'axes $O_1\xi\eta\zeta$ immobiles dans l'espace, que nous supposons avoir coïncidé avec le trièdre $Oxyz$ au moment t_0. Nous avons supposé en outre qu'il n'y a pas de force extérieure (restriction qui n'est pas nécessaire pour ce qui suit, comme nous le verrons plus loin).

Or, on a

$$\varphi_1(\xi, \eta, \zeta, t) \equiv \varphi\left(\xi - \int_{t_0}^{t} U\,dt, \eta, \zeta, t\right)$$

et par conséquent

$$\frac{\partial\varphi_1}{\partial t} = \frac{\partial\varphi}{\partial t} - Uu.$$

(¹) Volterra, *Sopra alcune applicazioni della rappresentazione analitica delle funzioni del prof. Mittag-Leffler* (*Atti della R. Accademia di Torino*, t. XXXIV).

ce qui donne pour la résistance $(R_x)_1$:

$$(2) \qquad (R_x)_1 = \iint p_1 \alpha \, dS = -\rho \iint \left(\frac{u^2+v^2+w^2}{2} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} - U u \right) \alpha \, dS,$$

si α signifie le cosinus de l'angle que la normale intérieure à S fait avec Ox et dS l'élément de la surface S.

Soit $\varphi_2(x, y, z, t)$ le potentiel des vitesses rapporté au trièdre immobile $Oxyz$, dans le cas où le solide Σ reste en repos et le fluide a la vitesse $(-U, 0, 0)$ à l'infini. On a évidemment

$$\varphi_2(x, y, z, t) = \varphi(x, y, z, t) - Ux$$

de sorte que l'équation de Bernoulli nous fournit la valeur ci-après pour la pression

$$(3) \qquad p_2 = -\rho \left[\frac{(u-U)^2 + v^2 + w^2}{2} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} - x \frac{dU}{dt} + F_2(t) \right].$$

et donc la résistance $(R_x)_2$ est donnée par l'intégrale

$$(4) \qquad (R_x)_2 = -\rho \iint \left(\frac{u^2+v^2+w^2}{2} + \frac{\partial \varphi}{\partial t} - U u + x \frac{dU}{dt} \right) \alpha \, dS.$$

En comparant les deux formules (2) et (4), on a

$$(R_x)_2 - (R_x)_1 = \rho \frac{dU}{dt} \iint x \alpha \, dS = -\rho V \frac{dU}{dt} = -M \frac{dU}{dt},$$

si V désigne le volume borné par la surface S et M la masse du fluide déplacé par le solide Σ. Par conséquent, *la résistance qu'oppose un fluide incompressible étant en repos à l'infini, au mouvement de translation de vitesse* U *d'un solide* Σ, *est inférieure ou supérieure* $\left(\textit{suivant que } \frac{dU}{dt} \textit{ est positif ou négatif}\right)$ *à l'action que le même fluide exercerait sur* Σ *si celui-ci restait en repos et le fluide prenait la vitesse* $-U$ *à l'infini; la différence entre ces deux forces est égale au produit de la masse* M *du fluide déplacée par* Σ, *par l'accélération* $\frac{dU}{dt}$.

2. Dans l'énoncé précédent nous n'avons pas mentionné les restrictions que l'existence des formules (1) et (3) suppose; on peut donner, en effet, au théorème précédent une démonstration plus intuitive et moins restrictive. Voilà l'essence de cette démonstration qui s'applique d'ailleurs à tout mouvement d'un fluide visqueux, incompressible. La translation

$(-U, o, o)$ imprimée au système tout entier (solide et fluide) fait varier seulement la pression hydrostatique p dans l'expression des pressions intérieures; elle équivaut d'ailleurs à une force d'inertie constante dans tout le fluide et égale à $\left(+\frac{dU}{dt}, o, o\right)$ pour l'unité de masse. Or, on sait que le fluide exerce, dans ce cas, une force égale à $\left(-M\frac{dU}{dt}, o, o\right)$ sur le solide Σ (c'est le principe d'Archimède); d'où l'on déduit le théorème énoncé plus haut, parce que la forme linéaire de la résistance par rapport à la pression p permet la superposition des deux actions fluides sur le solide Σ.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX. — *Sur le calcul des efforts développés par le retrait du ciment dans les constructions en béton armé.* Note de M. **Charles Rabut**, présentée par M. L. Lecornu.

Un massif de béton de ciment durcissant à sec, sans armatures ni liaisons extérieures, subit une contraction qui, dans les conditions courantes d'exécution, obéit à la formule hyperbolique

$$\rho = \frac{4t}{t+1},$$

où la contraction linéaire ρ est comptée en dix-millièmes, l'âge t du béton en mois.

Les règles que je vais établir résultent de deux remarques évidentes : 1° les tensions développées directement par le retrait dans le béton sont dues, non au retrait observable, mais au retrait *empêché* par l'armature ou par les liaisons extérieures; 2° elles cessent de croître dès qu'elles atteignent la limite d'élasticité du béton, c'est-à-dire dès que le retrait empêché atteint $\frac{1}{10000}$ dans les conditions courantes d'exécution.

Cela posé, considérons d'abord une pièce prismatique armée, mais sans liaisons extérieures. Soient ϖ le pourcentage $\frac{\omega_a}{\omega_b}$ de l'armature longitudinale, m le coefficient d'équivalence $\frac{E_a}{E_b}$, ρ' la contraction linéaire commune, en vertu de l'adhérence, au fer comprimé et au béton tendu. L'équilibre, dans une section transversale, entre la compression du fer et la tension du béton s'exprime, tant que les deux matériaux demeurent élastiques, par

$$E_a\omega_a\rho' = E_b\omega_b(\rho - \rho'),$$

car $\rho - \rho'$ représente le retrait empêché. On en déduit

$$\rho' = \frac{\rho}{1 + m\varpi}. \tag{1}$$

Lorsque la limite d'élasticité ρ_1 du béton est atteinte, on a simplement

$$\rho - \rho' = \rho_1,$$

d'où

$$\rho = \rho_1\left(1 + \frac{1}{m\varpi}\right). \tag{2}$$

A partir de ce moment, il se produit ce que j'appellerai *l'étirage virtuel* du béton, et les efforts intérieurs ne changent plus.

L'une ou l'autre, suivant le cas, des deux formules ci-dessus permet de déterminer les fatigues respectives $E_a\rho'$ et $E_b(\rho - \rho')$ des deux matériaux.

Si le prisme armé a des liaisons qui l'empêchent de se raccourcir, le béton subira une tension $E_b\rho$ qui cessera de croître dès que ρ atteindra la valeur ρ_1, et le métal ne supportera aucun effort. Sur cet état moléculaire, viendront se greffer les effets du décintrement et des surcharges.

Enfin, dans une pièce courbe telle qu'une voûte, le processus sera le même, pendant le repos sur cintre, que dans le prisme libre : le premier ou le second cas ci-dessus se réalisera suivant que les abouts des armatures seront libres ou scellés. Dans le second cas, ce n'est qu'au décintrement que l'arc pourra se raccourcir, ce qui se traduira par un abaissement de la clé, provoquant une flexion et les accroissements de pression qui s'ensuivent à l'extrados vers la clé, à l'intrados vers les naissances. Si le décintrement a lieu avant la fin du retrait, celui-ci, en se parachevant, produira de nouveaux efforts de flexion, non atténués comme les premiers par l'étirage virtuel (parce qu'en général l'arc est comprimé sur toute sa longueur dès qu'il supporte la charge permanente), mais d'autant plus faibles que l'arc est plus grand, c'est-à-dire reste plus longtemps sur cintre. Dans la pratique, on trouvera toujours ces effets indirects du retrait inférieurs à ceux du refroidissement maximum et à ceux de la contraction due à la poussée.

Pour une voûte encastrée, d'épaisseur e et de montée h, le supplément de pression dû au retrait a pour expression approchée

$$R_\rho = \frac{11e}{3h} E_b \rho.$$

Avec les valeurs assez usuelles

$$\frac{e}{h} = \frac{1}{12},$$
$$E_b = 200 \text{ t} : \text{cm}^2,$$
$$\rho \leq 0,00010,$$

on trouve

$$R_\rho = 6 \text{ kg} : \text{cm}^2.$$

Sans être négligeables, les efforts dus au retrait n'ont donc pas l'importance prépondérante qu'on leur a quelquefois attribuée. Il est presque superflu d'ajouter qu'on peut toujours les réduire autant qu'on le voudra en combinant un repos sur cintre suffisamment prolongé avec la pratique du clavage différé, à plus forte raison en réglant la poussée au clavage avec des vérins ou autrement.

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. — *Interprétation cinématique du théorème de Poynting*. Note de M. **Th. De Donder**, présentée par M. L. Lecornu.

1. Dans une Note récente [1], parue dans les *Comptes rendus*, nous avons montré qu'il est utile de joindre un système d'équations différentielles *ordinaires* à une équation de la Physique mathématique où figurent une divergence par rapport aux coordonnées x, y, z et une dérivée partielle par rapport au temps t. Ce procédé est tout à fait général; nous allons voir comment il s'applique, par exemple, à l'interprétation cinématique du théorème de Poynting. Nous nous bornerons ici au cas du champ électromagnétique de l'éther parcouru par des charges électriques.

2. Adoptons les notations de M. H.-A. Lorentz [2], et représentons donc par $(\mathbf{d}_x, \mathbf{d}_y, \mathbf{d}_z)$ le déplacement électrique, par $(\mathbf{h}_x, \mathbf{h}_y, \mathbf{h}_z)$ la force magnétique, par $(\mathbf{v}_x, \mathbf{v}_y, \mathbf{v}_z)$ la vitesse de l'électricité, par ρ la densité de l'électricité; ce sont des fonctions des coordonnées x, y, z et du temps t. La vitesse de la lumière dans le vide sera représentée par c.

En se reportant à la formule (37), page 22, du Traité de M. Lorentz, on trouvera que l'expression du théorème de Poynting peut prendre la

(1) *Sur le mouvement de la chaleur dans un corps athermane* (*Comptes rendus*, t. 157, 22 déc., p. 1400).

(2) H.-A. Lorentz, *The Theory of Electrons*, Leipzig, 1909 (voir spécialement p. 12 et 13).

forme

$$\frac{\partial}{\partial t}\frac{1}{2}(\mathbf{d}^2+\mathbf{h}^2)+c\,\mathrm{div.}\,[\mathbf{d}.\mathbf{h}]=-\rho(\mathbf{d}.\mathbf{v}). \tag{1}$$

Cette relation signifie qu'en vertu des équations

$$\frac{dx}{dt}=c\frac{[\mathbf{d}.\mathbf{h}]_x}{\frac{1}{2}(\mathbf{d}^2+\mathbf{h}^2)},\qquad \ldots \tag{2}$$

on aura

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\iiint_{\mathrm{S}}\frac{1}{2}(\mathbf{d}^2+\mathbf{h}^2)\,\delta\mathrm{S}=-\iiint_{\mathrm{S}}\rho(\mathbf{d}.\mathbf{v})\,\delta\mathrm{S}, \tag{3}$$

où S représente un volume variable, pris arbitrairement dans le champ électromagnétique considéré à l'instant t; $\delta\mathrm{S}$ est un élément infinitésimal de S. Représentons par $\mathbf{V}_x$, $\mathbf{V}_y$, $\mathbf{V}_z$ les composantes (2) de la vitesse $\mathbf{V}$; alors, on aura

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\equiv\frac{\partial}{\partial t}+\mathbf{V}_x\frac{\partial}{\partial x}+\mathbf{V}_y\frac{\partial}{\partial y}+\mathbf{V}_z\frac{\partial}{\partial z},$$

$$\mathbf{V}\equiv c\frac{[\mathbf{d}.\mathbf{h}]}{\frac{1}{2}(\mathbf{d}^2+\mathbf{h}^2)},$$

On remarquera que *cette vitesse* $\mathbf{V}$ *ne sera jamais plus grande que celle de la lumière dans le vide.*

Soit S_0 un volume pris arbitrairement à l'instant t^0; d'autre part, représentons par

$$x=x(t,t^0,x^0,y^0,z^0),$$
$$y=y(t,t^0,x^0,y^0,z^0),$$
$$z=z(t,t^0,x^0,y^0,z^0)$$

la solution générale des équations (2); x^0, y^0, z^0 sont les valeurs (arbitraires) de x, y, z à l'instant $t=t^0$. *Le théorème de Poynting* peut s'interpréter de la manière suivante : L'énergie

$$\iiint_{\mathrm{S}_0}\frac{1}{2}(\mathbf{d}^2+\mathbf{h}^2)\,d\mathrm{S}$$

n'est pas complètement entraînée [1] dans le mouvement (2); elle laisse

---

[1] Dans le cas où $\rho=0$, il y a entraînement *complet;* alors $(\mathbf{d}^2+\mathbf{h}^2)\delta\mathrm{S}$ est un invariant intégral de (2).

derrière elle une traînée d'énergie [1] qui vaut

$$\int_{t^0}^{t} dt \int\int\int_{S_0} \rho(\mathbf{d}.\mathbf{v}) \frac{\partial(x, y, z)}{\partial(x^0, y^0, z^0)} \delta S_0,$$

si le mouvement a lieu pendant l'intervalle de temps compris entre t^0 et t.

3. Si l'on considère l'espace-temps x, y, z, t, on sera amené à écrire les équations (2) comme suit :

$$(2') \qquad \frac{dx}{\mathbf{V}_x} = \frac{dy}{\mathbf{V}_y} = \frac{dz}{\mathbf{V}_z} = \frac{dt}{1} = d\tau,$$

où τ est un paramètre auxiliaire, qui jouera maintenant le rôle de variable *indépendante* (on aura : $\delta t \neq 0$ et $\delta\tau = 0$). Le théorème de Poynting devient alors

$$(3') \qquad \frac{d}{d\tau}\int\int\int_{S'} \frac{1}{2}(\mathbf{d}^2 + \mathbf{h}^2)\,\delta x\,\delta y\,\delta z\,\delta t = -\int\int\int_{S'} \rho(\mathbf{d}.\mathbf{v})\,\delta x\,\delta y\,\delta z\,\delta t.$$

Les fonctions $\mathbf{V}_x$, $\mathbf{V}_y$, $\mathbf{V}_z$ étant indépendantes de τ, on pourra déduire de (3'), grâce à la théorie des invariants intégraux de H. Poincaré, *d'autres relations intéressantes.*

PHYSIQUE. — *Application des lois de transparence de la matière aux rayons X, à la fixation de quelques poids atomiques contestés : Cas du thorium et du cérium.* Note [2] de MM. **Louis Benoist** et **Hippolyte Copaux**, présentée par M. G. Lippmann.

Après avoir réalisé, dans le cas des complexes minéraux, une vérification nouvelle des lois de transparence de la matière aux rayons X [3], nous avons fait une nouvelle application de la méthode de détermination ou de

---

[1] Dans l'étude des conducteurs, on trouverait ainsi, en première approximation, l'effet Joule.

[2] Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

[3] L. Benoist et H. Copaux, *Vérifications nouvelles des lois de transparence de la matière aux rayons X, dans le cas spécial des complexes minéraux* (*Comptes rendus*, 23 février 1914); y noter les errata suivants :

1° Page 560, lignes 13 et 28, *lire :* ferricyanure et non ferrocyanure;

2° Page 561, ligne 13, *lire :* équivalent calculé $= 6^{dg},97$ et non $7^{dg},97$.

contrôle des poids atomiques qui résulte de ces lois, à certains éléments dont les poids atomiques admis peuvent encore être discutés.

Cette méthode, reposant sur une propriété absolument intrinsèque de l'atome, consiste à déterminer l'équivalent de transparence de l'élément considéré, en opérant, soit sur cet élément lui-même, soit sur l'un quelconque de ses composés; dans ce dernier cas, l'équivalent cherché se déduit de l'équivalent mesuré pour ce composé, ceux des autres composants étant connus.

La valeur obtenue assigne à l'élément une certaine place sur la courbe générale d'isotransparence des éléments, pour les rayons du degré employé, et, par suite, un certain poids atomique. Un moyen précieux de contrôle s'obtient en comparant cet élément avec ceux dont il devient ainsi voisin, la comparaison portant soit sur la valeur de l'équivalent, soit sur le radiochroïsme, c'est-à-dire sur les variations de transparence résultant des variations du degré radiochromométrique des rayons.

Cette méthode a, sur celle qui résulte de la loi de Dulong et Petit, et sur les autres méthodes du même genre, l'avantage d'être entièrement indépendante de toutes les conditions qui font varier les propriétés physico-chimiques.

Une première application en a déjà été faite par l'un de nous ([1]) à l'indium, dont elle a confirmé le poids atomique 113,4, déduit des propriétés chimiques.

Nous nous proposons, dans le présent travail, d'étudier les cas, bien plus discutables, du *thorium*, du *cérium* et du *glucinium*, où les diverses propriétés utilisées pour la fixation du poids atomique ne s'accordent pas toutes entre elles.

1° *Thorium.* — Ce métal se comporte en général comme élément tétravalent; néanmoins, dans l'unique degré d'oxydation qu'on lui connaît, il donne un signe de bivalence par l'isomorphisme de son silicotungstate avec celui du calcium. Or, selon qu'on admet, pour valence normale, 2 ou 4, son poids atomique doit être 116 ou 232, valeurs auxquelles correspondent sur la coupe d'isotransparence pour 8° B., les équivalents $1^{dg},2$ et $0^{dg},7$, et par suite, pour l'oxyde, les équivalents $1^{dg},36$ et $0^{dg},80$. Ces dernières doses furent comparées, radiométriquement, à l'équivalent de l'aluminium, $20^{dg},8$; seule la valeur de $0^{dg},8$ donna l'égalité. La transparence du thorium n'est donc compatible qu'avec le poids atomique 232. D'ailleurs, comme ce nombre le place un peu au delà du plomb ($P_a = 207,1$; $E = 0^{dg},8$) la comparaison directe entre ces deux métaux fut faite (par ThO^2 et PbO^2); elle confirma la conclusion précédente.

([1]) L. Benoist, *Comptes rendus*, 25 mars 1901.

2° *Cérium.* — Ce métal est trivalent dans les sels céreux, puisque le nitrate céreux cristallise en toutes proportions avec le nitrate de bismuth; cependant, à l'état de silicotungstate céreux, il est isomorphe avec le calcium, et par suite bivalent. Ainsi, la même loi d'isomorphisme peut faire déclarer le cérium trivalent ou bivalent, selon l'acide auquel il est uni.

Or, pour $\overset{\text{III}}{\text{Ce}}$, le poids atomique sera 92, autrefois adopté, et pour $\overset{\text{II}}{\text{Ce}}$, il sera 140,25, adopté aujourd'hui.

Avec 92, le cérium se place sur la courbe d'isotransparence, assez près, mais un peu en avant, de l'argent (107,9), et immédiatement à côté du zirconium (90,6) et du molybdène (96). Au contraire, avec 140,25, il se place près du baryum (137,4) et du lanthane (139).

Il fallait donc déterminer l'équivalent du cérium, le comparer à ceux des éléments dont il devrait ainsi se rapprocher, suivant l'hypothèse adoptée, et, comme contrôle, faire jouer le radiochroïsme.

L'équivalent du cérium, déduit de ceux de l'oxyde cérique, de l'oxalate et de l'azotate céreux, a été trouvé : $1^{\text{dg}},45$.

Or celui de l'argent est $1^{\text{dg}},20$.

Ceux du zirconium et du molybdène, déterminés à cette occasion (par ZrO^2 et MoO^3), ont donné respectivement : $1^{\text{dg}},35$ et $1^{\text{dg}},30$.

Ceux du baryum (par l'oxalate, le carbonate, le fluorure et le chlorure) et du lanthane (par l'oxyde) ont donné : $1^{\text{dg}},45$ et $1^{\text{dg}},43$.

Il suffit de rapprocher ces résultats dans le Tableau suivant :

	Poids atomique.	Équivalent.
		dg
Zr................	90,6	1,35
Mo................	96	1,30
Ba................	137,4	1,45
La................	139	1,43
Ce................	140,25	1,45

pour conclure nettement en faveur du poids atomique 140,25, pour Ce.

La mise en jeu du radiochroïsme a confirmé cette conclusion. Car, d'abord, les quantités de Ag ($P_a = 107,9$), Sn ($P_a = 119$) et Ce (représenté par CeO^2), équitransparentes pour degré 7°, 5 B. cessent nettement de l'être quand le degré s'élève à 9°, 5 B.; Ag et Sn restent égaux en devenant relativement plus transparents (même radiochroïsme); mais Ce devient relativement plus opaque (radiochroïsme différent). Donc, le radiochroïsme du cérium l'écarte de la région de l'argent.

Rapprochant alors les quantités de Al, Zr, Ce et Ba équivalentes pour

degré 7°B. et abaissant le degré à 5°B., nous avons vu Al et Zr, d'un côté, devenir relativement plus opaques, Ba et Ce, d'autre part, devenir relativement plus transparents en restant égaux. Donc, son radiochroïsme place bien le cérium à côté du baryum et l'éloigne du zirconium, ainsi que des éléments à poids atomique encore plus faible.

Le poids atomique 140,25 est donc bien le seul qui s'accorde avec l'ensemble des propriétés radiométriques du cérium.

PHYSIQUE. — *Sur le rendement lumineux des tubes au néon en fonction de leur diamètre.* Note (¹) de M. **Georges Claude**, présentée par M. d'Arsonval.

Dans ma précédente Note (²), j'ai indiqué que j'avais vérifié, sur une nouvelle série de 5 tubes au néon, la loi de variation de la chute de potentiel le long de la colonne lumineuse en fonction du diamètre de ces tubes.

Il m'a paru intéressant de rechercher les conséquences de cette loi au point de vue du rendement lumineux. On pouvait penser que la diminution rapide de la chute entraînerait une amélioration corrélative du rendement à mesure de l'augmentation du diamètre : je dirai tout de suite que les essais photométriques entrepris sur cette même série de 5 tubes dans les mêmes conditions de pression ($2^{mm},9$) et de densité de courant (6 ampères par décimètre carré) n'ont pas justifié cette manière de voir. Quand on effectue ces essais, une chose frappe en effet à première vue, c'est l'efficacité beaucoup moindre des gros tubes : à courant égal, leur puissance lumineuse est lamentable par rapport à celle des petits tubes. Ainsi, le moindre voltage réclamé par les gros tubes ne correspond pas à un rendement meilleur. En réalité, la puissance lumineuse dépend, non du courant seul, mais de la puissance électrique.

Pour permettre d'apprécier de suite à sa valeur la portée de ce travail, je dois insister tout d'abord sur l'incertitude considérable des mesures photométriques dans un pareil cas.

La différence très grande entre la lumière du néon et celle des autres sources est une première difficulté ; le fait si curieux observé par MM. Broca et Laporte, et qui est absolument spécial à la lumière du néon, en est une autre : on sait que, d'après ces savants, chaque observateur perçoit le rouge de façon fort différente, en sorte que

(¹) Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

(²) *Comptes rendus*, 16 février 1914.

dans le photométrage, par dix observateurs exercés, d'un tube au néon de 45mm sous 0,88 A, MM. Broca et Laporte ont pu relever des chiffres échelonnés entre 62 bougies et 205 bougies par mètre. Pour situer par rapport à cette série les résultats ci-après, je dirai que j'y figurerais moi-même avec un chiffre sans doute voisin de 150 bougies.

J'ai atténué les erreurs de ces mesures en comparant, dans chaque cas, une tranche du tube à mesurer toujours avec la même tranche d'un autre tube à néon bien formé, constamment traversé par le même courant. Cette seconde tranche sert donc d'étalon secondaire, et l'on a ainsi à comparer deux lumières de même couleur, chose relativement aisée. La difficulté est alors limitée à l'étalonnage de cette tranche une fois pour toutes, par rapport à un étalon qui, dans l'espèce, a été une lampe Carcel, en raison de la couleur déjà rougeâtre de sa lumière. Si les valeurs absolues restent de cette façon incertaines, du moins peut-on accorder plus de confiance aux valeurs relatives des divers tubes les uns par rapport aux autres.

Les comparaisons se faisaient à l'aide d'un prisme triangulaire blanc entre la tranche étalon et une tranche de longueur variable du tube étudié.

On relevait en même temps la différence de potentiel aux bornes, le courant et la puissance totale, sauf quelques points en ce qui concerne cette dernière, le wattmètre ayant été détérioré. Plusieurs séries de lectures ont été faites, dont les résultats photométriques différaient quelquefois entre eux de plus de 10 pour 100. C'est la moyenne de ces essais qui est indiquée ci-dessous; $\cos\varphi$, avec la signification qui lui a été donnée dans ma Note du 12 décembre 1910, a été trouvé en moyenne compris entre 0,85 et 0,90. Dans les cas où la mesure du wattmètre n'a pu être prise, on a calculé la puissance en supposant $\cos\varphi = 0,87$. L'erreur due à la présence du wattmètre dans le circuit n'a malheureusement pas été corrigée, et cette erreur, appréciable pour les petits tubes, m'a fait abandonner les résultats relatifs au tube de 5mm,6.

Diamètre du tube.	Courant I.	Diff. de pot. aux bornes E.	Chute le long col. lumin. *e*.	Puissance totale EI cos φ.	Puissance consommée d. col. lumin. *e*I cos φ.	Puissance lumin.	Rendement lumineux global.	Rend. lumin. non compris perte électrodes.
mm	A	v	v	w	w	b	w : b	w : b
67	2,1	670	315	1260 (mes.)	567 (calc.)	1020	1,23	0,55
41,5	0,82	790	510	575 (mes.)	364 (calc.)	780	0,74	0,47
21	0,21	1575	1260	278 (mes.)	230 (calc.)	590	0,47	0,39
10,7	0,05	2600	2300	113 (calc.)	100 (calc.)	240	0,47	0,42

Ce Tableau, malgré le caractère précaire et incertain des mesures photométriques, met en évidence plusieurs choses intéressantes.

1° La puissance lumineuse, à densité de courant égale, n'augmente pas comme les sections, mais à peine comme les diamètres; or, si le courant *croît* comme le carré du diamètre, nous savons que par contre la chute de

potentiel dans la colonne *décroît* comme l'inverse du diamètre, en sorte qu'au total la puissance électrique absorbée dans la colonne ne croît que comme le diamètre, et comme la puissance lumineuse augmente approximativement suivant la même loi, il en résulte que la quantité de lumière produite est liée à l'*énergie* dépensée.

2° Si l'on considère le rendement de la colonne lumineuse seule, les très gros et les très petits tubes sont désavantagés; mais, à cela près, le rendement se conserve excellent entre des limites de diamètre étendues : de 40^{mm} à 10^{mm}.

Si l'on considère, au contraire, le fonctionnement global, on voit combien est néfaste l'influence de la chute de potentiel aux électrodes, toujours voisine de 300 volts, sur le tube de 67^{mm} et même sur celui de 41^{mm} pour les longueurs de 5^{m} utiles employées dans ces essais. Les tubes de 67^{mm} sont à tous égards de détestables outils. Les tubes de 40^{mm} à 45^{mm} doivent eux-mêmes avoir une longueur importante pour présenter un rendement convenable. Au contraire, dans les tubes de 10^{mm} à 20^{mm} et même 25^{mm}, cette influence de la perte aux électrodes est pratiquement bien faible dès les longueurs de 5^{m}. Et comme, par une heureuse chance, ces diamètres de 25^{mm} à 10^{mm} sont justement ceux vers lesquels le rendement dans la colonne elle-même est optimum, il en résulte que c'est à eux qu'on devra s'adresser de préférence (fragilité à part) quand la question rendement entrera en ligne.

3° La puissance lumineuse fournie par un tube de longueur donnée diminuant à peu près comme son diamètre sans que le rendement en souffre, on peut donc constituer avec des tubes de petit diamètre peu longs des sources de faible puissance lumineuse et très économiques, 200 bougies, par exemple, à 0,66 watt par bougie tout compris, ce qui était resté jusqu'ici tout à fait en dehors des possibilités de l'éclairage par luminescence. Quant à la durée de ces tubes de petit diamètre, qui pourrait prêter à quelque inquiétude, elle est tout aussi bien assurée que celle des gros tubes, à la seule condition que la règle de la faible densité de courant aux électrodes que j'ai formulée (¹) soit respectée. C'est ainsi que j'ai observé une durée de 4300 heures pour un tube de 7^{mm} de diamètre et de 6^{m} de long, et il ne semble pas que cette durée ait rien d'exceptionnel.

(¹) *Comptes rendus*, 22 mai 1911.

ÉLECTRICITÉ. — *Sur un paratonnerre au radium.* Note de M. B. SZILARD, présentée par M. J. Violle.

On sait que les paratonnerres à pointes ne provoquent un écoulement appréciable d'électricité qu'à condition que l'électricité atmosphérique tende à provoquer des décharges disruptives; et cela même lorsqu'on emploie des pointes très fines et multipliées. De plus, pour que la décharge soit réellement captée, il faut que la différence de potentiel entre la pointe et la nappe d'air chargée soit supérieure à celle qui existe entre cette dernière et un conducteur indépendant quelconque du voisinage. On ne peut donc guère conclure à un effet préventif certain d'un paratonnerre ordinaire, lequel n'offre, en outre, une protection vraiment efficace que dans un rayon limité et seulement lorsque les manifestations électriques ont déjà acquis un certain développement.

L'accumulation lente de la charge atmosphérique peut cependant provoquer ou faciliter la naissance des manifestations électriques de différentes façons : par le fait même que la faible charge des nappes aériennes et des particules flottantes séparées donne naissance à des densités électriques plus fortes lorsqu'elles se réunissent; par le fait qu'une couche chargée donne toujours plus facilement lieu à des manifestations électriques qu'une couche neutre, sous l'influence d'autres couches chargées (les réseaux de haute tension sont en effet plus souvent atteints que les lignes télégraphiques); enfin par l'action indirecte que peuvent exercer sur les nappes primitivement peu chargées, les autres couches aériennes fortement chargées et éloignées, dans leur déplacement rapide.

Ces considérations généralement admises m'ont conduit à examiner si un paratonnerre faisant intervenir en plus les propriétés des rayons radioactifs dans la protection, ne serait pas plus efficace que le simple paratonnerre à pointe.

Voici les effets qu'on pourrait attendre d'un paratonnerre ordinaire muni d'un disque garni de radium placé sous la pointe : Comme conséquence immédiate, la couche d'air environnant le disque deviendra, suivant la quantité de la substance employée, plusieurs millions de fois plus conductrice que d'habitude. Cette conductibilité, assurée même à une distance considérable de la pointe, abaissera fortement le potentiel normal de l'atmosphère et effectuera en même temps un échange d'électricité entre les différentes couches superposées.

Simultanément, un écoulement d'électricité se produira entre l'atmosphère et la

terre, et cela non plus par décharges brusques irrégulières limitées à une seule pointe, mais par un courant constant ininterrompu passant à travers une nappe d'un rayon de plusieurs dizaines de mètres; la conductibilité progressive de l'air sur la pointe concentrera l'écoulement dans sa direction.

Cet écoulement sera d'ailleurs, en raison de la loi de conduction électrique des gaz ionisés, d'autant plus intense que le potentiel régnant sera plus élevé. Une certaine tension dépassée, l'ionisation par choc se produit, capable de transporter des courants intenses.

Les rayons radioactifs ont aussi la propriété d'abaisser le potentiel explosif. Si alors, malgré le débit constant, la tension du milieu arrivait à monter à un potentiel tel qu'une décharge disruptive se produisît, celle-ci jaillirait lorsqu'elle serait encore faible et bien avant qu'elle n'ait pris naissance dans des conditions normales. Les étincelles pourront être amorcées à distance, mais jailliront de préférence sur la pointe où la conductibilité progressive de l'air les conduira.

Enfin, si malgré toute l'action préventive, de grosses décharges arrivaient à prendre naissance, elles subiraient à la fois l'effet de la conductibilité de l'air qui les transportera d'une distance assez considérable au paratonnerre, et l'effet de l'amorce qui les fera jaillir dans un état primitif de développement lorsque leur efficacité est encore moindre que ne le serait celle de l'étincelle non amorcée.

La masse d'air ionisée autour du disque peut être considérée comme un prolongement de celui-ci et lui assurerait ainsi un grand rayon d'action. L'air ionisé dans le voisinage effectuant un contact intime entre la pointe et l'atmosphère jouerait en outre le même rôle que les ramifications de la prise de terre ([1]) qui ont pour but d'établir un contact aussi parfait que possible entre le paratonnerre et la terre.

Tenté par ces hypothèses, j'ai réalisé un paratonnerre au radium destiné à suivre quantitativement les phénomènes ci-dessus.

Ce paratonnerre d'essai, pour être facilement transportable, consiste en trois tubes de laiton s'emboîtant les uns dans les autres et ayant une longueur totale de 350^{cm} environ, laquelle peut être réduite à volonté. Cette série de tubes est montée sur un support massif en ébonite reposant sur un socle en fonte. Sur l'extrémité supérieure de l'appareil s'applique une couronne de petites pointes et, en dessous, un disque portant la substance radioactive correspondant à 2^{mg} de bromure de radium.

Ce disque, légèrement bombé vers le haut, est construit en cuivre rouge (épaisseur $= 1^{mm}$; diamètre $= 250^{mm}$). La substance est fixée sur sa partie supérieure sous forme de ruban circulaire d'une largeur de 28^{mm}, disposé concentriquement au centre et à une certaine distance du bord.

Il est très important de pouvoir construire de tels disques résistants à l'action de la pluie et aux changements de température. La substance active

([1]) J. Violle, *Comptes rendus*, séance du 17 février 1913.

précipitée par l'électrolyse à la surface du disque convient. On arrive aussi à combiner le radium avec un émail adhérant à la surface du disque : c'est à cette méthode que je me suis arrêté de préférence, bien que par ce procédé on n'obtienne que relativement peu de rayons α.

En faisant fonctionner une petite machine statique (longueur d'étincelle = 5^{cm}) dans le laboratoire où se trouve l'appareil, on arrive à faire dévier l'aiguille (350 volts) de l'électromètre relié à la tige, même à une distance de 4^{m} à 5^{m}. En remplaçant l'électromètre par un tube de Geissler sensible, celui-ci s'illumine. Ces expériences réussissent mieux en plein air que dans un laboratoire, mais ne réussissent en aucun cas si l'on retire le disque au radium de l'appareil.

En exposant le dispositif *à l'air libre* dans un endroit dégagé ou bien proéminent, on voit l'aiguille dévier brusquement et le tube de Geissler s'illuminer. Ces expériences ont été faites en un air relativement calme, alors que le paratonnerre sans disque ne donnait aucun résultat.

L'intensité du courant constamment transmis par ce dispositif est très variable, de l'ordre de 10^{-7} ampère, alors que le courant transmis par l'air à l'état normal est de 10^{-16} ampère. L'ordre de grandeur se trouve donc multiplié environ par un milliard.

Ce chiffre ne comprend pas le courant qui pourrait être provoqué par l'ionisation par choc ou par décharge disruptive que le dispositif de mesure actuel n'aurait pas pu mesurer.

ÉLECTRICITÉ. — *Sur une disposition de bagues ou de balais pouvant remplacer le collecteur dans les dynamos électriques.* Note de M. **H. Parodi**, présentée par M. E. Bouty.

On a déjà construit des dynamos électriques à collecteur, dans lesquelles cet organe de la machine était constitué par une partie de l'enroulement induit : les spires de l'induit étant dénudées sur une fraction de leur longueur pour permettre le contact avec les balais fixes. Ces balais dans la disposition classique ont une épaisseur supérieure au pas de l'enroulement afin de toucher toujours au moins deux spires sur une certaine longueur.

On ne changera évidemment rien au fonctionnement électrique de la machine si l'on utilise pour le contact la totalité du contour de l'induit dans

le plan XY, c'est-à-dire si l'on remplace les balais ordinaires par deux bagues collectrices XX', YY' entourant l'induit et le touchant.

Si nous réduisons maintenant l'épaisseur de ces bagues de manière qu'elle devienne inférieure au pas de l'enroulement, le contact ne se fera plus que sur une seule spire et il n'y aura plus commutation au sens ordinaire du mot, mais simplement contact *continu* d'un anneau collecteur fixe sur la bague hélicoïdale mobile constituée par l'enroulement lui-même.

Le point de contact entre l'enroulement et l'anneau collecteur se déplace par rapport à ce dernier en tournant sur lui avec une vitesse de rotation N fois plus grande que celle de l'induit si l'enroulement induit a N spires.

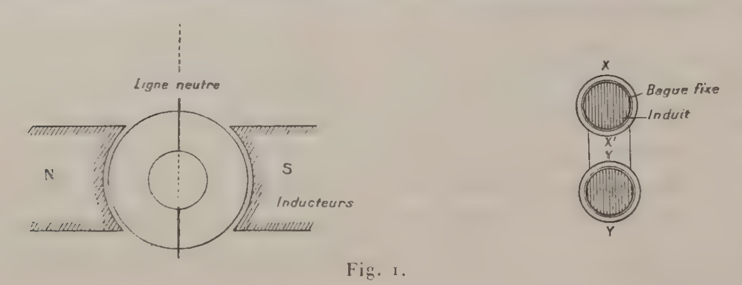


Fig. 1.

Nous ne changerons rien à la disposition en question si nous *matérialisons* le contact mobile au moyen d'un balai tournant qui glisse à la fois sur l'anneau fixe et sur l'enroulement mobile. Ce balai, dans son mouvement relatif par rapport à l'induit mobile, décrit une trajectoire qui se confond avec l'enroulement lui-même et, dans son mouvement relatif par rapport aux inducteurs, il décrit le plan XX' ou YY'.

Ceci posé, nous voyons qu'on peut dire d'une façon générale qu'il est possible de réaliser une jonction *continue* et *uniforme* entre les extrémités d'un ou plusieurs enroulements fixes avec des points variables d'un enroulement mobile à condition de donner aux balais de contact un mouvement absolu tel :

1° Que, dans leur mouvement relatif par rapport au rotor, ils décrivent une courbe coïncidant avec l'enroulement même du rotor;

2° Que, dans leur mouvement relatif par rapport au stator, ils décrivent une surface dont la position est définie à chaque instant par une condition géométrique caractéristique du type de moteur considéré (plan XY fixe par rapport aux inducteurs dans le cas d'une dynamo à courant continu par exemple).

Il devient possible de concevoir toute une série de dynamos à courant

continu ou alternatif, à mouvement continu ou alternatif, à pas d'enroulement constant ou variable, entièrement semblables aux dynamos électriques à collecteur correspondantes dans lesquelles le collecteur serait remplacé par un système de bagues collectrices ou de balais tournants.

C'est ainsi, par exemple, qu'il serait possible de construire (*fig.* 2) un

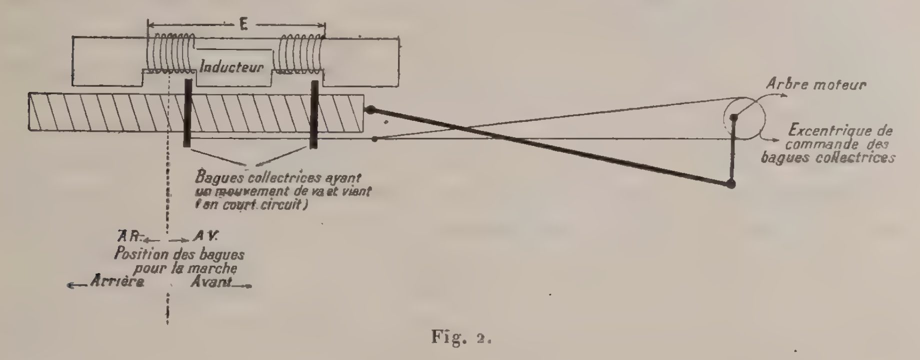


Fig. 2.

moteur à répulsion à mouvement alternatif en donnant aux balais tournants ou aux bagues collectrices un mouvement de va-et-vient par rapport aux inducteurs, analogue au mouvement du tiroir de distribution dans une machine à vapeur.

ÉLECTRICITÉ. — *Influence de l'état de l'atmosphère sur la propagation et la réception des ondes hertziennes.* Note (¹) de MM. **E. Rothé** et **R. Clarté**, présentée par M. E. Bouty.

Le rôle que joue l'état de l'atmosphère dans la propagation des ondes hertziennes a été indiqué déjà dans des publications antérieures (²). Lorsqu'il s'agit d'étudier seulement l'influence des conditions atmosphériques sur la réception des radiotélégrammes, on peut se contenter de la méthode du téléphone (avec shunt ou transformateur à primaire réglable). Le galvanomètre balistique, avec détecteur, convient pour les tops uniques. Mais, si l'on désire une mesure fidèle de l'énergie à la réception, il est préférable d'utiliser un appareil thermique, comme le thermogalvanomètre de Duddel auquel nous avons eu déjà recours, à Nancy, pour les mesures préliminaires des 4, 11, 18, 25 mars, 1er avril et celles du 17 avril 1912 (éclipse de

(¹) Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

(²) E. Rothé, *Comptes rendus*, t. 154, 1912, p. 1454; *Association française pour l'Avancement des Sciences*, Nîmes, 1912, p. 191.

Soleil) [1]. Mais sa sensibilité a été augmentée au point qu'un trembleur, analogue à celui qui sert au réglage des détecteurs à cristaux, suffit, à plusieurs mètres de distance, pour imprimer à l'équipage une déviation notable.

Influences atmosphériques. — Les signaux F. L. ont été étudiés pendant les mois de novembre et décembre toutes les fois qu'ils n'ont pas été masqués par des perturbations locales ou des émissions provenant des nombreux postes voisins de la frontière.

Il est très désirable que, pour les expériences définitives du Comité international, une entente puisse s'établir, afin d'éviter les émissions pendant les quelques minutes nécessaires aux mesures.

Il serait bon aussi d'émettre des traits de 10 secondes, séparés par un intervalle d'au moins 10 secondes, pour que l'appareil ait le temps de revenir au zéro.

Le courant continu produisant la même déviation que les traits de la tour, que nous appellerons *courant équivalent*, a oscillé autour d'une valeur moyenne de 80 microampères (antenne à 6 brins parallèles de cuivre distante de 50^{cm}; diamètre 2^{mm}; bobine d'accord de $0^{\Omega},7$ de résistance).

Il est rare que les variations de l'énergie, proportionnelles au carré de l'intensité, dépassent d'un jour à l'autre 10 pour 100.

Nous avons pourtant constaté des variations importantes anormales, sans cause apparente, dont nous indiquons ci-dessous les dates.

La valeur moyenne de la déviation étant 63, on a eu :

	Déviations.	Ciel.	Temp. max.	Temp. min.	Vent.
28 novembre...	76	temps couvert, *pluie*	$10^{\circ},6$	$7^{\circ},4$	SW faible
7 décembre...	43	$\frac{1}{2}$ couvert	4,2	—1,4	SE très faible
12 » ...	50	ciel couvert	7,4	—6,8	W faible
29 » ...	52	$\frac{3}{4}$ couvert, *neige*	—1,0	—5,0	NW très faible

On peut seulement conclure de l'ensemble des nombres obtenus que le temps sec paraît défavorable ; la pluie ne gêne pas malgré le mauvais isolement de l'antenne qui en résulte.

Mais on peut affirmer qu'il existe d'un jour à l'autre des variations largement supérieures aux erreurs expérimentales qu'on peut admettre.

---

(1) E. Rothé, *loc. cit.*

Différences entre le jour et la nuit. — La différence entre les réceptions de jour et de nuit n'est pas aussi accusée à toutes les époques de l'année, au moins si l'on compare les réceptions aux mêmes heures.

Ainsi en décembre on trouve pour les déviations :

	Décembre.			
	10.	12.	13.	14.
$10^h 39^m$, jour	70	56	50	76
$23^h 39^m$, nuit	»	»	64	»

Courant équivalent 81 microampères.

Il en est de même le 6 décembre où l'intensité du courant de nuit est à peine supérieure à l'intensité moyenne de jour (81 microampères pour le courant équivalent, comme dans la nuit du 13).

En février les différences sont plus accusées et nettement au profit de la nuit.

	Février.					
	19.	20.	21.	22.	23.	24.
$10^h 39^m$, jour.....	74	70	72	76	76	78
$23^h 39^m$, nuit.....	82	»	90 [1]	»	86	»

Courant équivalent.

Les variations du carré de l'intensité atteignent 46 pour 100.

Les mesures préliminaires de l'éclipse 1912 avaient rendu manifestes des variations de 53 et 37 pour 100, les 25 mars et 1er avril, entre $15^h 15^m$ et $22^h 15^m$.

Les différences sont beaucoup plus importantes entre le minimum et le maximum d'une même journée.

Le 4 avril 1912 on avait obtenu (sensibilité moindre) un maximum 69 à 24^h (ciel très brumeux) qui est 1,9 fois plus grand que le minimum 36 observé à 8^h.

D'après l'ensemble de ces résultats préliminaires, il semble que *les mesures les plus utiles sont celles qui durent une journée entière, comme celles qui sont projetées au programme du Comité international.*

Coucher du Soleil. — Des émissions spéciales ont été faites à la demande de M. Marchant, de Liverpool, pour rechercher si l'augmentation d'inten-

---

[1] Nuit étoilée, très belle, après un orage violent.

sité suit immédiatement le coucher du Soleil. Les déviations du galvanomètre Duddel ont été trouvées égales à Nancy :

26 juillet.

20h.	20h30m.	21h.	21h30m.	22h.
26	28	32	29	29

Il y a eu augmentation nette entre 20^h30^m et 21^h suivie d'une légère diminution :

27 octobre.

17h20m.	17h25m.	17h30m.	17h35m.	17h40m.	17h45m.	17h50m.	18h.	17h55m.
25	30	30	29	26	40	30	48	46

L'augmentation n'a été tout à fait nette qu'à la nuit complète; c'est pourquoi on n'indique ci-dessus que les mesures à partir de 17^h20^m.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Étude de l'équilibre entre le chlorure de plomb et le chlorure de sodium en solution aqueuse.* Note [1] de Mme **N. Demassieux**, présentée par M. H. Le Chatelier.

J'ai fait l'étude de l'équilibre entre le chlorure de plomb et le chlorure de sodium en solution aqueuse aux températures de 13°, 50° et 100°. L'ensemble des résultats est représenté graphiquement par les courbes suivantes, obtenues en portant en abscisses le chlorure de sodium en grammes dans 100g de solution et en ordonnées le chlorure de plomb en grammes dans 100g de solution.

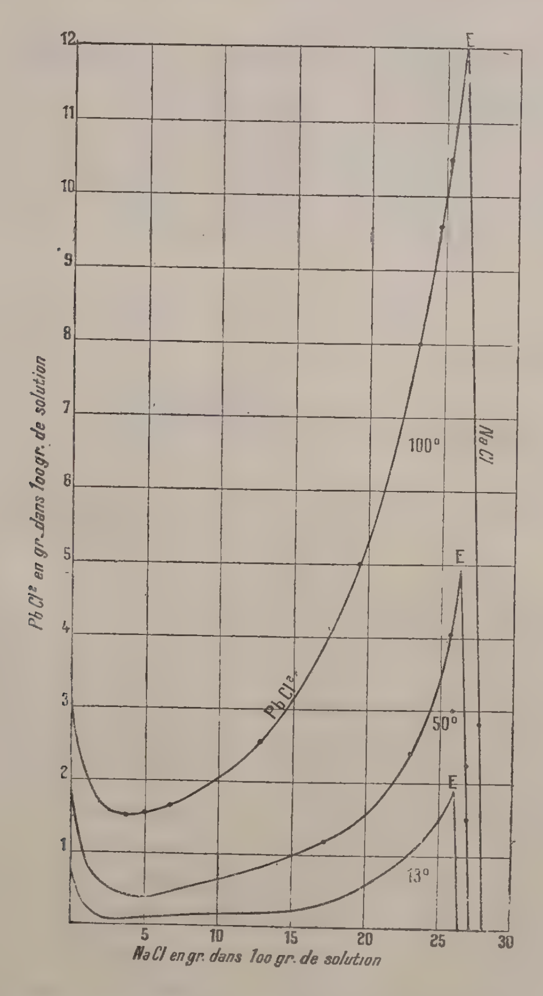
L'examen de ces courbes, ainsi que l'analyse du dépôt solide, montre que, à aucune de ces trois températures, le chlorure de plomb et le chlorure de sodium ne forment de combinaisons entre eux; la première branche de courbe correspond au dépôt de chlorure de plomb jusqu'au point de transition E, chlorure de plomb-chlorure de sodium, et la deuxième branche au dépôt de chlorure de sodium.

La solubilité du chlorure de plomb en présence des solutions de chlorure de sodium varie, comme cela a été remarqué pour la solubilité du chlorure de plomb dans les solutions d'acide chlorhydrique de concentration croissante, et dans beaucoup de cas analogues.

La solubilité diminue d'abord par suite de la présence d'un sel à ion

(1) Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

commun. Ensuite elle augmente par la formation d'un sel double; mais ici il est impossible de l'isoler comme dans le cas du chlorhydrate d'ammoniaque et du chlorure de potassium, parce que ce sel est à l'état labile et



est plus soluble que le système chlorure de plomb-chlorure de sodium, ce qui constitue une différence essentielle avec les systèmes chlorure de plomb avec chlorhydrate d'ammoniaque et chlorure de plomb avec chlorure de potassium qui donnent des combinaisons définies et des courbes brisées.

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur les alliages de cuivre, de nickel et d'aluminium.* Note([1]) de M. **Léon Guillet**, présentée par M. Henry Le Chatelier.

J'ai montré précédemment ([2]) l'influence très remarquable du nickel sur la structure et les propriétés des alliages de cuivre et de zinc.

Continuant mes recherches sur les alliages ternaires de cuivre, je résumerai très brièvement les résultats obtenus par des additions d'aluminium dans les alliages de cuivre et de nickel. Cette étude a porté sur un très grand nombre de produits; nous ne citerons que les séries les plus remarquables.

Propriétés mécaniques. — Tous les résultats des Tableaux suivants ont été obtenus sur métal coulé.

Composition chimique.				Propriétés mécaniques à l'état coulé.					
				Essai de traction.					
Cu.	Ni.	Al.	Fe.	R.	E.	A p. 100.	Σ.	Dureté ([3]).	Résilience ([4]).
Première série : Alliages à 60 pour 100 de cuivre.									
60,00	39,58	0	0,37	11,6	9,6	2,5	»	73	3,1
60,87	38,41	0,48	0,21	19,2	10,5	9,0	»	73	4,6
60,30	38,24	1,09	0,24	22,0	11,0	14,0	»	78	6,2
60,54	37,01	2,05	0,31	27,0	24,6	2,0	»	144	3,7
59,70	36,50	3,00	0,73	50,0	40,0	2,0	»	212	3,7
59,70	34,89	4,90	0,51	65,0	»	0	0	229	3,7
59,53	32,82	6,80	0,78	74,0	»	2,0	5,9	230	3,4
59,88	29,56	9,67	0,80	61,3	»	1,0	4,5	235	3,1
Deuxième série : Alliages à 83 pour 100 de cuivre.									
82,02	17,72	0,00	0,19	10,0	»	8,0	10,1	47	4,0
83,03	16,34	0,35	0,24	27,0	7,0	31,5	»	62	17,5
82,75	15,76	0,93	0,47	49,0	34,0	6,0	11,5	162	7,2
82,58	14,92	1,90	0,60	44,3	»	1,5	8,7	184	7,2
82,71	13,95	3,01	0,32	59,6	»	3,5	10,1	189	4,3
82,28	10,11	7,08	0,48	32,3	»	1,0	4,5	157	3,7
82,47	7,07	9,87	0,59	30,0	»	3,5	7,3	112	3,5
82,91	5,00	4,54	0,49	46,3	»	1,0	4,5	215	2,6

([1]) Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

([2]) *Comptes rendus*, t. 155, 1912, p. 1512.

([3]) Dureté à la bille sous 2000^{kg}.

([4]) Résilience sur éprouvettes de 10 × 10^{mm}, avec mouton rotatif.

Avec des pourcentages de 14 et 16 d'aluminium, les métaux sont impossibles à usiner, par suite de leur fragilité.

Composition chimique.				Propriétés mécaniques à l'état coulé.					
				Essai de traction.					
Cu.	Ni.	Al.	Fe.	R.	E.	A p. 100.	Σ.	Dureté.	Résilience.
Troisième série : Alliages à 90 pour 100 de cuivre.									
89,75	10,07	0,00	0,13	12,5	4,0	10,0	»	46	4,3
89,95	9,32	0,43	0,23	23,0	»	31,5	»	55	8,7
90,17	8,66	0,87	0,28	41,3	»	11,0	»	123	8,1
89,70	8,01	2,00	0,24	53,0	»	4,0	»	182	5,6
89,99	6,72	3,14	0,13	37,6	»	4,0	»	154	4,3
89,53	5,01	4,87	0,59	20,3	9,0	24	»	60	18,9
89,53	3,07	6,85	0,57	20,3	10,0	27,0	»	53	15,6
89,73	traces	9,71	0,39	25,0	»	1,5	4,5	110	3,6

La dernière éprouvette a donné des résultats erronés par suite de soufflures.

Il a été impossible, en de nombreux essais, de noter d'une façon précise la limite élastique et la striction.

On voit que :

1° Une addition très faible d'aluminium améliore considérablement les qualités de l'alliage; peut-être joue-t-il alors le rôle de réducteur sur les oxydes contenus dans le bain;

2° La charge de rupture et la dureté croissent très rapidement avec la teneur en aluminium, passent par un maximum pour décroître ensuite; le maximum de leurs valeurs est d'autant plus élevé que la teneur en cuivre est plus basse et il correspond à une teneur en aluminium d'autant plus faible que le pourcentage de cuivre est plus élevé;

3° Il y a parfois discordance entre la dureté et la charge de rupture; cela provient sans doute de ce qu'on est en présence de métaux fragiles pour lesquels l'essai de traction est très délicat;

4° On peut obtenir sur métal coulé des charges de rupture de 70^{kg} à 75^{kg}; mais les allongements et la résilience sont alors faibles.

Structure. — L'examen au microscope de ces alliages met en vue les conclusions suivantes :

Première série. — Tous les alliages sont formés d'une solution acide, hétérogène, à l'exception du dernier produit qui renferme 10 pour 100

d'aluminium et a sensiblement même structure que l'alliage

Cu = 90; Al = 10.

Deuxième série. — Jusqu'à 5 pour 100 d'aluminium, les alliages sont formés d'une solution solide unique. A 7 pour 100 d'aluminium apparaît le constituant spécial qui augmente avec la teneur de ce métal.

Troisième série. — Tous les alliages sont formés d'une solution solide, à l'exception du dernier qui contient 10 pour 100 d'aluminium.

On voit donc que la structure est la même que celle des alliages binaires cuivre-aluminium à même teneur en aluminium.

Influence des traitements. — Le recuit agit évidemment en uniformisant la solution solide; mais il faut souvent un temps très prolongé. C'est ainsi que l'alliage

Cu = 82,20; Al = 2,50; Ni = 14,98

n'apparaît pas homogène au microscrope après un recuit de 10 heures à 900°.

La trempe n'a d'action que sur les alliages renfermant le constituant β des bronzes d'aluminium.

Quant au forgeage, il modifie considérablement les propriétés mécaniques à l'exception de la résilience, comme le montre l'exemple suivant :

Composition de l'alliage :

Cu = 82,20; Al = 2,50; Ni = 14,98; Zn = 0,23; Fe = 0,06; Pb = traces.

Propriétés du métal coulé :

R = 58,6; A pour 100 = 5; Σ = 7,3; Dureté = 191; Résilience = 6,0.

Propriétés du métal forgé et recuit :

R = 77,8; A pour 100 = 11; Σ = 20,7; Dureté = 250; Résilience = 6,0.

Ce sont là des propriétés très remarquables pour un alliage de cuivre.

En résumé : certains alliages cuivre-nickel-aluminium présentent des propriétés exceptionnelles qui démontrent à nouveau l'intérêt industriel et du titre fictif et du domaine de la solution solide pure.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Passage des éthers diméthyliques des glycols acétyléniques à ces glycols.* Note de M. R. LESPIEAU, présentée par M. A. Haller.

La réaction du trioxyméthylène sur les dérivés magnésiens acétyléniques fournit certainement des alcools, et Jotsitch en particulier a pu passer ainsi de l'acétylène au glycol $C^4H^6O^2$; mais d'une part les rendements sont assez faibles, ne serait-ce que par suite de la production de formals, d'autre part il est difficile d'extraire l'alcool du milieu où il a pris naissance; s'il s'agit de glycols, la difficulté est plus grande encore, ceux-ci étant peu solubles dans l'éther, et se décomposant d'une façon explosive quand on les distille, s'ils ne sont pas privés de tout sel métallique.

Or j'ai montré (¹) que l'éther chlorométhylique réagit sur les dérivés magnésiens acétyléniques en donnant des éthers-oxydes avec des rendements acceptables; on peut passer de ces éthers aux glycols par déméthylation, ainsi que je m'en suis assuré en prenant comme point de départ les trois composés suivants :

$$CH^3OCH^2.C \equiv C.CH^2OCH^3, \qquad CH^3OCH^2.C \equiv C.CH^2.CH^2OCH^3,$$
$$CH^3OCH^2.C \equiv C.CH^2.CH^2.C \equiv C.CH^2OCH^3.$$

Mais comme la déméthylation a été faite par l'action de l'acide bromhydrique, il a d'abord fallu empêcher la fixation de cet hydracide, qu'il eût été difficile d'éliminer ensuite; à cet effet on commence par fixer 2^{at} de brome sur les triples liaisons. On arrive ainsi à des corps bromés que j'ai déjà décrits (²), sauf le second, lequel est un liquide bouillant à 132° sous 15^{mm}.

Ces composés se déméthylent facilement quand on les maintient quelques heures à 100°, dans un ballon traversé par un courant d'acide bromhydrique; lors du refroidissement le contenu du ballon cristallise, on purifie par dissolution dans le pétrole bouillant. De cette façon on a obtenu les bromures suivants :

$CH^2Br.CBr = CBr.CH^2Br$, fondant à 69°,5-70°,5;
$CH^2Br.CBr = CBr.CH^2.CH^2OH$, fondant à 64°-65°;
$CH^2Br.CBr = CBr.CH^2.CH^2.CBr = CBr.CH^2Br$, fondant à 86°-87°.

(¹) *Bull. Soc. chim.*, 4ᵉ série, t. V, p. 308.
(²) *Ann. de Phys. et de Chim.*, 8ᵉ série, p. 137.

La fonction alcool du second, établie par l'analyse, est confirmée par l'existence d'une phényluréthane fondant à 88°-89°.

On voit que dans les mêmes conditions la fonction alcool primaire s'éthérifie ou ne s'éthérifie pas, suivant qu'elle est en α ou en β par rapport au groupe $CBr = CBr$. Les groupes CH^2Br, sans doute à cause de leur voisinage, sont ici doués d'une aptitude très marquée à réagir; le brome qu'ils renferment est précipité à froid en quelques heures par une solution de nitrate d'argent dans l'alcool aqueux, et cela quantitativement, alors que les autres atomes de brome présents dans la même molécule ne sont pas touchés.

De ces bromures on passe quantitativement aux acétines par action de l'acétate d'argent, et l'on arrive ainsi aux trois composés suivants :

$C^2H^3O^2.CH^2.CBr = CBr.CH^2.O^2CH^3$, fondant à 61°;
$C^2H^3O^2.CH^2.CBr = CBr.CH^2.CH^2OH$, liquide bouillant à 168°, sous 16^{mm};
$C^2H^3O^2.CH^2.CBr = CBr.CH^2.CH^2.CBr = CBr.CH^2.O^2CH^3$, fondant à 59°-60°.

Par saponification on obtient les glycols bromés suivants :

$CH^2OH.CBr = CBr.CH^2OH$, fondant à 116°,5-117°,5, dont la diphényluréthane fond à 186°-187°;
$CH^2OH.CBr = CBr.CH^2.CH^2.CBr = CBr.CH^2OH$, fondant à 116°-117°, dont la diphényluréthane fond à 205°-206°.

Le glycol en C^5, obtenu liquide, n'a pu être purifié faute de matière.

L'enlèvement du brome sous l'action de la poudre de zinc en présence d'alcool, a fourni avec le premier corps le glycol en C^4 de Jotsitch, avec le second un glycol biacétylénique en C^8, nouveau.

Ce dernier, le glycol $CH^2OH.C \equiv C.CH^2.CH^2.C \equiv C.CH^2OH$, fond à 88°,5-89°,5; par dépôt de ses solutions dans le benzène bouillant, il forme un feutrage d'aiguilles soyeuses, minces, rappelant l'ouate par leur toucher et leur porosité vis-à-vis des liquides; il donne facilement une diphényluréthane, celle-ci fond à 180°.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur la cyclisation des dicétones* 1.4.
Note de M. E.-E. **Blaise**, présentée par M. A. Haller.

La seule réaction de cyclisation des dicétones 1.4 connue jusqu'ici est celle qui, par déshydratation de ces dicétones, conduit aux homologues du furfurane. Ayant étudié antérieurement, d'une manière systématique, la

cyclisation des dicétones acycliques, j'avais été conduit à penser que les dicétones 1.4 devaient, vraisemblablement, être capables de se cycliser d'une manière différente pour fournir des alcoylcyclopenténones :

$$\begin{array}{l} \qquad\qquad\quad CH^2 \\ C^2H^5-CO\diagup\diagdown CH^2 \\ CH^3-CH^2____|CO \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} \qquad\qquad CH^2 \\ C^2H^5-C\diagup\diagdown CH^2 \\ CH^3-C\|___|CO \end{array}$$

Dès cette époque, j'avais fait quelques essais sur l'acétonylacétone, mais sans succès, et le désir de tenter la même réaction sur des homologues de cette dicétone est un des motifs qui m'ont conduit à rechercher une méthode générale de préparation des dicétones 1.4. J'ai montré, dans une précédente Note, comment ces dicétones peuvent s'obtenir sans grande difficulté, grâce à l'emploi des dérivés organométalliques mixtes du zinc.

J'ai repris d'abord mes essais antérieurs sur l'acétonylacétone, et je me suis convaincu qu'en effet, il n'est pas possible de transformer cette dicétone en méthylcyclopenténone. Comme l'emploi des déshydratants acides conduit aux dérivés furfuraniques, on ne peut songer à utiliser que les alcalis comme agents de cyclisation. Or, fait non signalé jusqu'ici, l'acétonylacétone est très sensible à l'action des alcalis. J'ai essayé les corps alcalins les plus divers, depuis la potasse et la soude caustiques jusqu'aux carbonates et aux cyanures, et il m'a toujours été impossible d'isoler la moindre trace de méthylcyclopenténone. On constate seulement, ou que la dicétone ne subit aucune modification, ou qu'elle se transforme en une résine rouge. Par contre, le dipropionyléthane se comporte d'une manière toute différente et se laisse transformer, sans aucune difficulté, en méthyléthylcyclopenténone.

A la suite de divers essais, j'ai reconnu que les conditions les plus favorables sont les suivantes : on mélange la dicétone avec son poids d'une solution méthylalcoolique de potasse à 10 pour 100, puis on chauffe au bain-marie, à reflux, pendant 20 minutes. Il suffit alors de chasser l'alcool méthylique au bain-marie, dans le vide, de reprendre le résidu par l'éther, laver à l'eau, sécher sur le sulfate de sodium anhydre, chasser le solvant et distiller le résidu. On obtient ainsi la méthyléthylcyclopenténone avec un rendement de 80 pour 100 environ.

Cette cétone constitue un liquide mobile, réfringent, à odeur rappelant celle des cétones cycliques du goudron de bois, bouillant à 90°,5 sous 15^{mm}. Il est facile de mettre en évidence, dans ce composé, la fonction cétonique, à l'aide des réactifs habituels de cette fonction. La semicarbazone cristallise en aiguilles et fond à 267°; la *p*-nitrophénylhydrazone forme de belles

aiguilles, rouges par transparence, à reflets métalliques; elle fond à 204°. J'ai, d'ailleurs, pu établir sans difficulté la constitution de cette cétone par oxydation au moyen du permanganate de potassium. Comme on peut le prévoir, cette oxydation donne, avec un bon rendement, de l'acide acétique et de l'acide β-propionylpropionique :

$$\begin{array}{l} \qquad\qquad CH^2 \\ C^2H^5 - C \diagup \quad \diagdown CH^2 \\ \qquad\quad \| \qquad | \\ CH^3 - C \text{———} CO \end{array} + O^3 + H^2O = CH^3CO^2H + C^2H^5 - CO - CH^2 - CH^2 - CO^2H.$$

Ce dernier fond à 37° et a été identifié, par comparaison directe, avec un échantillon d'acide synthétique.

Il me paraît infiniment probable que cette réaction de cyclisation est applicable à toutes les dicétones acycliques 1.4 non méthylées et l'exception présentée par le premier terme de la série, l'acétonylacétone, est d'autant plus curieuse.

J'ai tenté jusqu'ici d'appliquer cette même réaction de cyclisation à une dicétone mixte : l'acétonylacétophénone

$$C^6H^5 - CO - CH^2 - CH^2 - CO - CH^3,$$

dans le but de rechercher si la présence du méthyle terminal, qui doit entrer en réaction, serait encore un obstacle à la cyclisation.

L'acétonylacétophénone, assez difficile à obtenir à l'état pur, est un liquide qui, contrairement aux indications de Paal, bout à peu près sans aucune décomposition à 162° sous 12mm. Traitée par la potasse méthylalcoolique, dans les conditions indiquées pour le dipropionyléthane, elle ne subit pas de modification appréciable, et si l'on emploie la potasse éthylalcoolique à 20 pour 100, on n'obtient que des produits résineux, comme dans le cas de l'acétonylacétone.

Il semble donc que la réaction de cyclisation n'est pas applicable aux dicétones 1.4 méthylées. Je pensais, cependant, avoir un moyen de tourner la difficulté. En effet, Paal a indiqué qu'en traitant l'éther phénacylacétylacétique par la potasse alcoolique, on obtient un acide déhydroacétonylacétophénone-carbonique, or, ce corps aurait pu présenter précisément la constitution d'un acide phénylcyclopenténone-carbonique qui, étant β-cétonique, aurait dû conduire à la phénylcyclopenténone, par perte d'anhydride carbonique.

Mais mes recherches sur ce point m'ont montré qu'il est impossible d'enlever à l'acide de Paal de l'anhydride carbonique; elles permettent d'ailleurs de mettre très sérieusement en doute la constitution de cet acide. Je signalerai enfin que, dans un travail paru tout récemment, M. Willstaeter a observé

la formation de cyclopenténones dans l'action des alcalis sur les homologues de l'éther diacétylsuccinique, circonstance qui m'a engagé à publier la présente Note.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur l'éther oxalacétique*. Note de M. H. GAULT, présentée par M. A. Haller.

L'éther oxalacétique se prépare très facilement par condensation de l'éther oxalique avec l'éther acétique en présence de sodium ou d'éthylate de sodium en milieu éthéré ou alcoolique ([1]).

Dans tous les cas, on obtient le sel de sodium correspondant, que les acides étendus décomposent, en mettant l'éther libre en liberté. On purifie cet éther brut en le lavant à plusieurs reprises avec une solution de bicarbonate de potassium et en le distillant ensuite sous pression réduite par petites portions de 30g à 50g : si l'on s'écarte de cette dernière règle, on observe une décomposition notable et l'on obtient toujours un résidu de distillation important.

L'éther oxalacétique distillé, bien que parfaitement pur, n'est pas stable et, même à température ordinaire, il s'altère plus ou moins rapidement, soit lorsqu'on l'abandonne à lui-même, soit surtout au contact de composés alcalins. Lorsqu'on tente de distiller un éther ainsi altéré, il se décompose plus ou moins rapidement et le résidu de distillation s'accroît dans des proportions considérables : dans certains cas même, le produit devient totalement indistillable. J'ai été amené, en me basant sur les résultats des recherches que j'ai exposées dans une Note récente ([2]), à étudier à nouveau les produits d'altération de l'éther oxalacétique et les conditions dans lesquelles cette altération se produit.

Dans tous les cas que j'ai étudiés jusqu'à présent, le composé essentiel qui prend ainsi naissance à partir de l'éther oxalacétique, en particulier par distillation ou à la longue, est la *lactone oxalocitrique*, composé résultant de l'élimination d'une molécule d'alcool entre deux molécules d'éther oxalacétique, et si l'éther altéré n'est plus distillable sans décomposition, c'est que, comme je l'ai montré, la lactone qu'il renferme et qui constitue le résidu de la distillation, est elle-même indistillable et fournit par alcoolyse et élimination d'anhydride carbonique, l'éther $\alpha\alpha\beta\gamma$-propanetétra-

---

([1]) *Lieb. Ann.*, t. CCXLVI, p. 317.

([2]) *Comptes rendus*, t. 158, 2 mars 1914, p. 632.

carbonique. C'est évidemment ce dernier éther qui avait été précédemment obtenu, à côté de la lactone elle-même, par L.-J. Simon [1] précisément au cours de ses recherches sur les produits d'altération de l'éther oxalacétique. L'éther oxalacétique rigoureusement pur distille au contraire sous pression réduite, sans laisser de résidu appréciable, et la distillation apparaît ainsi comme un moyen d'établir la présence de lactone dans l'éther oxalacétique à condition qu'on se protège contre toute cause de lactonisation. Ces causes, en dehors de l'action de l'acétate de potassium ou des amines, sont assez nombreuses et je vais indiquer brièvement les plus intéressantes.

I. L'éther oxalacétique pur se lactonise progressivement à la longue et plus ou moins rapidement suivant son degré de pureté initiale.

II. L'éther oxalacétique se lactonise sous l'action de la chaleur : en chauffant l'éther pur à 150° au bain d'huile pendant 4 heures, la proportion de lactone formée atteint 70-80 pour 100. De là résulte précisément la nécessité d'éviter toute surchauffe dans la distillation de l'éther oxalacétique.

III. L'éther oxalacétique se lactonise intégralement au contact de solutions de bicarbonate ou de carbonate de potassium, lorsque ces solutions sont suffisamment diluées pour que le sel de potassium correspondant de l'éther ne se sépare pas à l'état solide. Dans le cas contraire, en effet, le sel séparé échappe naturellement à toute transformation.

IV. L'éther oxalacétique résultant de l'acidification directe du sel de sodium initial contient lui-même toujours une certaine quantité de lactone qu'on retrouve naturellement comme résidu dans la distillation de l'éther brut. La présence de cette lactone n'a d'ailleurs rien qui puisse surprendre, puisque Wislicenus [2] a montré qu'elle se forme précisément par action de l'éthylate de soude, en l'espèce l'agent de condensation employé sur l'éther oxalacétique.

L'éther oxalacétique jouit de propriétés acides caractéristiques.

Il fournit en particulier très facilement le sel correspondant de potassium par action des solutions de bicarbonate et surtout de carbonate de potassium sur sa solution éthérée. Le sel formé au sein des solutions très concentrées de carbonate (50 pour 100) est pratiquement insoluble; il n'en est pas de même lorsqu'on le prépare par action des solutions même saturées de bicarbonate qui le dissolvent et le lactonisent partiellement.

---

[1] *Comptes rendus*, t. 138, p. 1505.

[2] *Lieb. Ann.*, t. CCXCV, p. 349.

L'éther oxalacétique se distingue ainsi essentiellement de la lactone oxalocitrique dont le sel de potassium est au contraire très soluble dans les solutions de bicarbonate et de carbonate de potassium. Cette différence dans les solubilités des deux sels fournit un procédé très commode de séparation et, jusqu'à un certain point, de dosage des deux composés dans leurs mélanges.

On peut de ce qui précède tirer un certain nombre de conclusions :

1. Les lavages de la solution éthérée d'éther oxalacétique brut avec une solution saturée de bicarbonate de potassium ne doivent pas être prolongés outre mesure : s'ils ont pour résultat en effet, d'éliminer les produits acides accessoires et spécialement la lactone, ils déterminent aussi une dissolution et une lactonisation partielle de l'éther.

2. La purification de grandes quantités d'éther oxalacétique par distillation est pénible et désavantageuse : on ne peut, en effet, l'effectuer que par petites portions et de toute manière, elle laisse un résidu qui abaisse plus ou moins le rendement. Il est préférable d'employer le procédé suivant : l'éther oxalacétique brut est transformé en sel de potassium correspondant à l'aide d'une solution concentrée de carbonate de potassium dans des conditions que j'aurai l'occasion de décrire en détails dans une autre publication. Cette transformation, si elle a été convenablement effectuée, élimine d'une part, la lactone oxalocitrique et les produits acides accessoires et, d'autre part, aussi les produits neutres. Le sel ainsi obtenu est très stable, au contraire de l'éther libre et dans les limites de temps où j'ai pu me placer, et *c'est sous cette forme qu'il semble indiqué de conserver l'éther oxalacétique*. Par simple acidification à froid, il fournit un éther absolument pur (trouvé C pour 100 et H pour 100, 50,82 et 6,48 au lieu de 51,06 et 6,38).

3. Les diverses solutions carbonatées ayant servi au lavage de l'éther oxalacétique brut, les résidus de distillation de l'éther constituent autant de sources plus ou moins abondantes de lactone oxalocitrique et, par suite, d'éther propanetétracarbonique et d'acide tricarballylique.

4. L'éther oxalacétique brut constitue une matière première tout à fait avantageuse pour la préparation directe de la lactone oxalocitrique dont il renferme en effet déjà une certaine proportion.

La lactone oxalocitrique enfin n'est pas le seul produit accessoire que l'on puisse isoler au cours de la préparation de l'éther oxalacétique : il se

forme en effet, dans certains cas, et dans des conditions que je n'ai pu encore établir avec exactitude, de très petites quantités d'un éther α-pyronique dont j'indiquerai ultérieurement la constitution détaillée.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur les isomères stéréochimiques de quelques γ-glycols.* Note de M. **Georges Dupont**, présentée par M. A. Haller.

J'ai indiqué, dans deux Notes précédentes ([1]), la possibilité de séparer un certain nombre de γ-glycols acétyléniques, obtenus par la méthode de Jotsitch, en deux isomères stéréochimiques dont la théorie permettait de prévoir l'existence. L'hydrogénation de ces corps m'a en outre conduit, dans un certain nombre de cas, aux isomères des glycols saturés ([2]).

Sur les deux isomères obtenus dans chaque cas, la théorie indique qu'un seul doit être dédoublable en inverses optiques; or l'un fond, en général, une trentaine de degrés plus haut que le deuxième et est beaucoup moins soluble dans la plupart des dissolvants; lequel de ces deux isomères est dédoublable? Tel est le problème qui reste à résoudre.

Dans la présente Note, j'indiquerai les résultats de l'étude de deux nouveaux glycols acétyléniques; la facile cristallisation des deux isomères de l'un d'eux permettait d'espérer trouver, dans l'étude des formes cristallines, la solution cherchée. Si cet espoir ne s'est point réalisé, du moins cette étude apporte-t-elle quelques indications précieuses.

I. *Di-p. tolylbutine-diol sym.* : $CH^3C^6H^4 - CHOH - C \equiv C - CHOH - C^6H^4CH^3$.

Ce corps, obtenu avec un excellent rendement par l'action de l'aldéhyde toluique sur le dibromomagnésium-acétylène, se sépare aisément, par lévigation répétée à l'éther froid, en ses deux constituants :

Premier isomère. — La fraction insoluble dans l'éther, recristallisée dans l'alcool, donne de petits prismes, à symétrie *clinorhombique* avec *antihémiédrie*, fondant à 173°, très biréfringent.

$a:b:c = 1,242:1:1,307$; $\gamma = 80°57'$. Formes rencontrées : $p(001)$, $h^1(100)$, $a^{\frac{1}{2}}(\bar{2}01)$ et une forme antihémiédrique $g^3(\bar{1}20, \bar{1}\bar{2}0)$. Clivage facile parallèle aux faces h^1.

([1]) *Comptes rendus*, t. 148, p. 1522; *id.*, t. 149, p. 1381.

([2]) Thèse de doctorat, Paris, 1912 (*Ann. de Phys. et Chim.*, 8e série, t. XXX, p. 524).

Cette forme cristalline étant superposable à son inverse, on ne peut rien conclure de cette étude au sujet des isomères optiques.

Deuxième isomère. — Obtenu, par évaporation de la solution éthérée, en longs *prismes tricliniques;* il fond à 127°.

$\alpha = 87°30'$, $\beta = 112°22'$, $\gamma = 80°24'$; $a:b:c = 1,066:1:0,7455$. Formes rencontrées : $h^1(100)$, $g^1(010)$, $p(001)$, $g^3(1\bar{2}0)$, $x(\bar{1}22)$, $a^{\frac{1}{4}}(\bar{1}04)$. Clivage facile parallèle aux faces h^1.

Tous les cristaux obtenus se sont montrés cristallographiquement superposables entre eux, alors qu'ils ne le sont point à leur image. On peut donc en conclure que, ou bien on a affaire à l'isomère indédoublable, ou bien à une forme racémique de l'isomère dédoublable.

Éther benzoïque. — Le premier isomère, chauffé quelque temps avec du chlorure de benzoyle et de la pyridine, donne une *dibenzoïne*, très peu soluble dans l'alcool, qui cristallise de ce solvant en fines paillettes fusibles à 125°. Le deuxième isomère ne m'a pas donné, dans ces conditions, de produits cristallisés.

Hydrogénation catalytique. — Ces deux isomères, agités en solution alcoolique et en présence de noir de platine dans une atmosphère d'hydrogène, ont fixé sensiblement 4^{at} d'hydrogène par molécule pour donner les deux isomères du *di-p. tolylbutane-diol*-1.4. : $[CH^3.C^6H^4CH.OH.CH^2]^2$.

Le premier isomère cristallise dans l'alcool en fines aiguilles fondant à 133°-134°; le deuxième cristallise de CCl^4 en fines aiguilles fondant à 103°-104°.

II. *Di-p. méthoxyphénylbutine-diol sym.:* $[CH^3.O.C^6H^4.CHOH.C\equiv]^2$. — Ce glycol (¹), obtenu à partir de l'aldéhyde anisique, est à peu près insoluble dans l'éther. Un commencement de séparation peut se faire par extraction à l'éther acétique à froid.

Premier isomère. — La fraction difficilement soluble dans l'éther acétique donne, après cristallisation dans l'alcool, de petits prismes non mesurables, fusibles à 131°-132°.

Deuxième isomère. — Les parties extraites, par évaporation, de l'éther acétique sont soumises à une précipitation fractionnée de l'acétone par l'eau. Les dernières fractions précipitées, recristallisées dans le chloroforme, donnent de fines aiguilles fusibles à 112°-113°.

(¹) Déjà préparé brut par Jotsitch qui donne pour point de fusion 121°-123° (*J. S. phys. chim. r.*, t. XXXVIII, p. 651).

Hydrogénation catalytique. — Le premier isomère fixe, en solution alcoolique, 4^{at} d'hydrogène par molécule, pour donner, avec un bon rendement, le glycol saturé correspondant $(CH^3O.C^6H^4.CHOHCH^2)^2$ qui cristallise du tétrachlorure de carbone en fines aiguilles fondant à 115°-116°.

Le deuxième isomère m'a donné un mélange, duquel j'ai pu extraire une petite quantité d'un corps fusible à 138°, présentant, à l'analyse, la composition du glycol saturé attendu. Son point de fusion anormal porte, toutefois, à croire qu'on a plutôt affaire à un produit d'hydrogénation du glycol, sur les noyaux benzéniques. La trop petite quantité de produit obtenue ne m'a pas permis d'élucider ce point.

III. *Réaction colorée des γ-glycols.* — L'acide sulfurique donne, avec la plupart de ces glycols acétyléniques ou saturés, des colorations variées, parfois extrêmement intenses brunissant à chaud. Les colorations données par deux isomères sont, en général très voisines, mais peuvent ne pas être identiques.

Cette réaction s'obtient encore avec les éthers de ces glycols et aussi, comme je le montrerai dans une prochaine Note relative à ces corps, avec les dicétones correspondantes; les carbures et les alcools correspondants essayés ne m'ont donné aucune coloration; il semble donc que cette réaction soit assez caractéristique des liaisons à l'oxygène de deux carbones en position γ.

Colorations obtenues : *jaune* pour le diméthyle et le dipentaméthylène-butine-diols; *rouge jaune* pour le tétraméthyle, le tétraéthyle, le diméthyldiéthylbutine-diols; *rouge vif* pour le dianisylbutine-diol et pour les diphényle, ditolyle et dianisylbutane-diols; *violet* pour le dicinnamyle et le diméthyldiphénylbutine-diols; *vert jaune* enfin pour le tétraphénylbutine-diol. Le diphényle et le ditolylbutine-diols sont simplement noircis, alors que les glycols saturés correspondants, ainsi que la dibenzoïne du second, virent vivement au rouge.

Conclusion. — Bien que cette étude n'ait point encore permis de résoudre le problème des isoméries optiques, elle donne une indication précieuse pour une étude ultérieure dans ce sens : c'est sur le premier isomère (précisément le plus aisé à obtenir) que les essais de dédoublement ont le plus de chance de succès. Enfin, incidemment, j'ai trouvé dans le cours de cette étude, une réaction colorée qui peut être précieuse pour caractériser ces glycols et leurs dérivés.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Composés iodés obtenus avec l'orthonitraniline et l'acide orthonitrosulfanilique*. Note [1] de M. **Paul Brenans**, présentée par M. E. Jungfleisch.

Pour enlever le groupe SO^3H de l'acide iodonitrosulfanilique

$$C^6H^2I_6(SO^3H)_4(NO^2)_2(NH^2)_1,$$

Körner et Contardi [2] chauffent son sel de baryum à 120°-130° pendant 3 heures avec un excès d'acide sulfurique à 60°B. D'après ces savants, une faible proportion du produit échange normalement son groupe sulfo contre un atome d'hydrogène pour fournir une nitraniline iodée, fusible à 122°, considérée par eux comme l'isomère $C^6H^3I_6(NO^2)_2(NH^2)_1$, car elle donne par substitution de l'hydrogène au groupe NH^2 le nitrobenzène iodé $C^6H^4I_3(NO^2)_1$; ils préparent en remplaçant par l'iode le groupe NH^2 de cette iodonitraniline le nitrobenzène diiodé $C^6H^3I^2_{2.3}(NO^2)_1$, isomère nouveau, fusible à 110°,2.

Dans cette réaction, une autre portion de l'acide nitrosulfanilique iodé remplaçant son groupe SO^3H et l'atome d'iode par deux atomes d'hydrogène se change en orthonitraniline $C^6H^4(NO^2)_2(NH^2)_1$; l'iode ainsi libéré réagit sur une troisième partie qui n'a perdu que son groupe sulfo et donne une nitraniline diiodée, fusible à 152°, qui est l'isomère

$$C^6H^2I^2_{4.6}(NO^2)_2(NH^2)_1,$$

puisqu'elle donne naissance par substitution de l'hydrogène au groupe NH^2 à un nitrobenzène diiodé connu $C^6H^2I^3_{3.5}(NO^2)_1$, fondant à 104°,4.

Quatre années avant la publication de ce travail, j'ai obtenu [3], dans l'action du chlorure d'iode sur l'orthonitraniline, une nitraniline monoiodée, fusible à 123°, que j'ai considérée comme l'isomère $C^6H^3I_4(NO^2)_2(NH^2)_1$.

J'ai transformé cette nitralinine iodée par substitution de l'iode au groupe NH^2 en un nitrobenzène diiodé nouveau, l'isomère $C^6H^3I^2_{3.6}(NO^2)_1$, fusible à 109°-110°, qui par réduction fournit l'aniline diiodée $C^6H^3I^2_{3.6}(NH^2)_1$

(1) Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

(2) Körner et Contardi, *Atti R. Accad. dei Lincei*, *Roma*, 5e série, 15, II, 18 novembre 1906, p. 577 à 579.

(3) Brenans, *Comptes rendus*, t. 135, 1902, p. 178.

fondant à 88° ; j'ai changé enfin cette nouvelle base en phénol diiodé, l'isomère $C^6H^3I^2_{3.6}(OH)_1$ fusible à 99°.

Dans l'action du chlorure d'iode sur l'orthonitraniline j'ai obtenu aussi [1] une nitraniline diiodée, fondant à 154° (corr.) et qui est l'isomère nouveau $C^6H^2I^2_{4.6}(NO^2)_2(NH^2)_1$ car je l'ai transformé par substitution de l'hydrogène au groupe NH^2 en un nitrobenzène diiodé, l'isomère $C^6H^3I^2_{3.5}(NO^2)_1$, fusible à 103°, identique au nitrobenzène diiodé que j'ai obtenu à l'état pur, par une substitution analogue, avec la paranitraniline diiodée $C^6H^2I^2_{2.6}(NO^2)_4(NH^2)_1$.

En comparant les propriétés des dérivés iodés ayant pour origine l'acide nitrosulfanilique avec celles des composés iodés de même composition que j'ai préparés avec l'orthonitraniline, on est frappé de leur ressemblance.

La constitution de la nitraniline diiodée de Körner et Contardi

$$C^6H^2I^2_{4.6}(NO^2)_2(NH^2)_1$$

étant celle de la nitraniline diiodée que j'ai décrite, ces deux nitranilines iodées d'origine différente sont le même composé.

On ne pouvait pas admettre sans contrôle l'identité de l'orthonitraniline monoiodée et du nitrobenzène diiodé de ces savants avec les isomères que j'ai obtenus, puisque les constitutions attribuées à ces composés étaient différentes. J'ai donc refait le travail de Körner et Contardi, et je me suis assuré que leurs dérivés iodés sont identiques aux composés que j'ai décrits.

En effet, un échantillon constitué par un mélange des nitranilines iodées des deux origines fond à 123°; de plus, ces composés fournissent le même dérivé acétylé $C^6H^3I(NH^2)(NHCOCH^3)$, fusible à 112°.

Les nitrobenzènes diiodés issus, par une réaction normale, de ces nitranilines monoiodées sont aussi le même isomère.

Il me restait à montrer que la constitution adoptée par ces auteurs était inexacte et que celle que j'ai donnée devait être maintenue. J'ai donc cherché de nouvelles preuves à l'appui de la constitution que j'ai attribuée à la nitraniline iodée $C^6H^3I_4(NO^2)_2(NH^2)_1$ et aux corps iodés qui en dérivent.

Une première preuve réside dans la transformation en diiodobenzène de l'aniline diiodée $C^6H^3I^2_{3.6}(NH^2)_1$, issue de la nitraniline iodée

$$C^6H^3I_4(NO^2)_2(NH^2)_1.$$

---

[1] Brenans, *Comptes rendus*, t. 136, 1903, p. 236.

Il est évident que la substitution normale de l'hydrogène au groupe NH^2 de cette base conduirait au diiodobenzène $C^6H^4I^2_{1.4}$, alors que la base de formule $C^6H^3I^2_{2.3}(NH^2)_1$ qui aurait pour origine la nitraniline iodée de Körner et Contardi $C^6H^3I_6(NO^2)_2(NH^2)_1$, fournirait par cette réaction le diiodobenzène $C^6H^4I^2_{1.2}$. L'expérience réalisée a été concluante puisque j'ai obtenu l'isomère $C^6H^4I^2_{1.4}$, fusible à 129°, avec un rendement de 30 pour 100; cette réaction fournit aussi du diiodophénéthol

$$C^6H^3I^2(OC^2H^5)$$

en aiguilles incolores, fusibles à 46° (théorie pour $C^8H^8OI^2$; $I = 67,91$; trouvé : $I = 67,71$ et $68,03$).

J'ai pensé aussi à transformer cette aniline diiodée $C^6H^3I^2_{3.6}(NH^2)_1$, en triiodobenzène $C^6H^3I^3$. Cette base doit fournir, si sa constitution est exacte, l'isomère $C^6H^3I^3_{1.2.4}$, tandis que si sa formule est $C^6H^3I^2_{2.3}(NH^2)_1$, elle donnerait naissance au triiodobenzène $C^6H^3I^3_{1.2.3}$.

Körner et Belasio (¹) ont préparé le triiodobenzène $C^6H^3I^3_{1.2.4}$ avec une aniline diiodée obtenue par Körner par réduction du nitrobenzène diiodé $C^6H^3I^2_{3.6}(NO^2)_1$, fusible à 109°-110°. Je n'ai pas trouvé trace dans la littérature chimique de ce dernier travail attribué à Körner et le nitrobenzène diiodé fusible à 109°-110°, ainsi que l'aniline diiodée qui en dérive, fusible à 88° sont des composés que j'ai décrits (*loc. cit.*) et dont la constitution découle de celle de l'orthonitraniline iodée $C^6H^3I_4(NO^2)_2(NH^2)_1$, qui est la matière première pour leur préparation. Quoi qu'il en soit, le triiodobenzène $C^6H^3I^3_{1.2.4}$, qui a cette origine, possède les propriétés indiquées par ces auteurs; il fond à 91°,5 (théorie pour $C^6H^3I^3$: $I = 83,55$; trouvé : $I = 83,15$ et $83,30$).

Il restait à préparer le triiodobenzène $C^6H^3I^3_{1.2.4}$ en partant d'une aniline diiodée de constitution certaine. Je me suis adressé à l'isomère $C^6H^3I^2_{2.4}(NH^2)_1$; cette base m'a fourni le triiodobenzène $C^6H^3I^3_{1.2.4}$, en aiguilles prismatiques, incolores, fusibles à 91°,5, identique à celui préparé par Körner et Belasio en partant de l'aniline $C^6H^3I^2_{3.6}(NH^2)_1$ (théorie pour $C^6H^3I^3$: $I = 83,55$; trouvé : $I = 83,36$).

L'aniline diiodée, fournissant par des réactions normales soit le diiodobenzène $C^6H^4I^2_{1.4}$, soit le triiodobenzène $C^6H^3I^3_{1.2.4}$, constitue bien l'isomère $C^6H^3I^2_{3.6}(NH^2)_1$; le nitrobenzène diiodé d'où cette base dérive

---

(¹) Körner et Belasio, *Atti R. Accad. dei Lincei, Roma*, 5e série, 17, I, 6 juin 1908, p. 679-690.

reste l'isomère $C^6H^3I^2_{3.6}(NO^2)_1$, et enfin l'orthonitraniline monoiodée l'isomère $C^6H^3I_4(NO^2)_2(NH^2)_1$, les deux composés de Körner et Contardi constituant les mêmes isomères.

MINÉRALOGIE. — *Les phénomènes métamorphiques à l'île de Sériphos (Archipel).* Note de M. **Const.-A. Ktenas**, transmise par M. A. Lacroix.

L'examen de la constitution des roches cristallophylliennes de Syra et de Siphnos, et surtout de celles qui sont riches en sodium, comme par exemple les roches à glaucophane, à albite, à paragonite, à augites jadéitiques, nous a déjà indiqué que le métamorphisme, auquel est due leur formation, ne pouvait pas être le dynamo-métamorphisme [1]; indépendamment de l'âge de ces couches, une action endogène se fait voir partout.

Dès lors, j'ai poursuivi des études analogues dans les formations avoisinantes et surtout dans l'île de Sériphos, en recherchant la suite des formations rapportées plus haut [2]. On y trouve de bas en haut les couches suivantes, qui ont subi un métamorphisme complet :

1° Des *gneiss* pauvres en mica muscovite (épaisseur maximum 100^m), avec intercalation des gneiss à biotite;

2° Du *marbre* (épaisseur maximum 15^m) et au-dessus *de la dolomie* (épaisseur maximum 10^m) : l'un et l'autre font parfois défaut;

3° Une zone *des cornéennes* et *des roches à ilvaïte;*

4° Des *kalkgneiss* et des *gneiss à épidote* avec de rares intercalations du *kalkglimmerschiefer*.

Le tiers environ de l'île est occupé par un *granite à biotite* [3] sans aucune disposition parallèle, qui traverse les couches 1, 2 et 3 et forme à la surface un massif elliptique dont le grand axe, d'une longueur de 9^km environ,

(1) Const.-A. Ktenas, *Tschermaks Mitteilungen*, t. XXVI, 1907, p. 257, et *Comptes rendus*, 27 juillet 1908.

(2) Des renseignements partiels sur la constitution de l'île de Sériphos (Fiedler, Lepsius, Vallindas) faisaient prévoir une composition très variée. Mes premières recherches ont été exécutées dès le commencement de l'année 1910. (*Publication d'enchères pour l'exploitation de la mine du cap de Chalara de Sériphos.* Athènes, Ministère des Finances, 1910.)

(3) La publication de la Carte pétrographique de l'île comprendra la description détaillée de ses roches et de ses minéraux.

se dirige vers le Nord-Est; toutes les couches ont une disposition périclinale autour de lui. Elles sont traversées par beaucoup de filons et de filons-couches de *microgranite*, de *quartz-porphyre* et d'*aplite*.

Le *gneiss* de la couche la plus basse est le plus souvent pauvre en mica muscovite; mais c'est la biotite avec ou sans hornblende qui se développe abondamment dans le gneiss, au voisinage d'amas de magnétite; ceux-ci, au nombre de 6 dans l'horizon 1, s'approchent tantôt du contact avec le granite, tantôt du marbre superposé, qui est traversé lui aussi par des filons granitiques; il est alors transformé, quelquefois dans toute son épaisseur, en des roches composées *d'actinote*, de *wollastonite*, de *grenat* et *d'épidote;* ces couches sont le gisement de cristallisations parfaites constituées surtout par du grenat et de l'épidote; des intercalations d'une composition minéralogique analogue se trouvent aussi parfois dans le gneiss lui-même.

La liaison des filons éruptifs et des gisements des grenatites et des épidotites montre que la formation de ces derniers est due à l'intervention des substances apportées par l'intrusion granitique; cette théorie, soutenue depuis longtemps par l'école française, surtout après les recherches classiques de Michel-Lévy, Barrois et A. Lacroix, trouve encore ici une nouvelle confirmation.

Partout où la couche de marbre et celle de dolomie manquent, le gneiss vient en contact avec une zone qui possède parfois une constitution minéralogique toute particulière; différentes *cornéennes à andalousite*, à *augite*, à *hornblende*, à *grenat* ou à *diopside*, le plus souvent très riches en *feldspath*, y paraissent à la partie orientale; elles sont accompagnées de grenatites et d'épidotites, plus rarement de gneiss à épidote ou à actinote. Quant à la partie occidentale, tandis que les cornéennes à diopside n'y manquent pas, ce sont pourtant des formations, composées d'*actinote* et de *feldspath* ou d'*actinote* et d'*ilvaïte*, qui y jouent le rôle principal. Ce dernier minéral prend un développement considérable (¹); il constitue, avec de l'actinote et du quartz, des agrégats qui possèdent ordinairement une structure radiale; ils forment des couches entières qui alternent avec les filons-couches de granite et des roches à actinote et feldspath.

De larges filons et des géodes remplies de cristaux d'ilvaïte, qui peuvent atteindre une longueur de 30^{cm}, et de prase, prouvent de même ici l'abon-

---

(¹) C'est Fiedler qui a observé le premier l'ilvaïte à Sériphos (*Reise durch alle Teile des Königreiches Griechenland*, t. II, 1841, p. 116).

dance des solutions qui ont circulé durant l'intrusion granitique. Des amas de magnétite s'intercalent parfois dans la zone en question.

Le kalkgneiss recouvre à la partie nord de Sériphos la zone 3 et constitue la couche la plus récente de l'île ; c'est le seul horizon qui ne se voit pas en contact avec le massif elliptique de granite.

Ce rapide coup d'œil nous fait donc distinguer la liaison intime qui unit les cornéennes présentant tous les caractères d'un métamorphisme de contact, d'une part avec les roches à ilvaïte et d'autre part avec les gneiss et les formations provenant du métamorphisme des calcaires. L'influence endogène a donc contribué à donner à l'île sa composition minéralogique.

Une dernière venue aplitique, suivie de solutions ferrugineuses très abondantes, a achevé le cycle de l'évolution de l'île ; ces solutions ont donné naissance aux grands gisements de minerai de fer de l'horizon 2 ; elles sont caractérisées par la présence de substances dues à des minéralisateurs (*barytine* et *fluorine*).

MINÉRALOGIE. — *Sur les figures de déshydratation du ferrocyanure de potassium*. Note de M. C. **Gaudefroy**, présentée par M. F. Wallerant.

Les cristaux sur lesquels ont été faites les observations suivantes ont la forme de tables carrées, possédant apparemment la symétrie quadratique, mais composées en réalité d'un grand nombre d'individus monocliniques associés autour de leur axe binaire, lequel est un axe quasiquaternaire du réseau. Ces individus étant mêlés inextricablement, je n'emploierai ici que la notation quadratique.

Karl Pape (1), en chauffant le ferrocyanure de potassium, obtint des figures d'efflorescence, vaguement circulaires sur la face *p* et elliptiques sur les autres.

J'ai observé que la déshydratation se produit à la température ordinaire, dès que la tension de vapeur d'eau est inférieure à 3^{mm} de mercure. La substance blanche pulvérulente qui résulte de cette transformation est anhydre, et les figures ont le même aspect, qu'elles soient produites à 15° ou à 45°.

Au début du phénomène, de longues bandes d'efflorescence très étroites, parallèles à *p*, envahissent les faces latérales des tables carrées, tandis que la face *p* elle-même

(1) *Pogg. Ann.*, t. II, 1865, p. 517, 531.

se recouvre de figures polygonales dont les côtés, plus ou moins arrondis, se rapprochent souvent d'une circonférence. Les meilleures figures sont celles qu'on obtient isolées dans la masse cristalline, quelquefois à 1^{cm} de toute surface, en laissant les cristaux 2 ou 3 jours sous une cloche desséchée à l'acide sulfurique.

Ces figures sont opaques, mais on peut y faire pénétrer un liquide qui les rende transparentes, de l'huile de vaseline par exemple.

Elles sont aplaties suivant p, leur épaisseur peut atteindre un dixième de millimètre et leur diamètre 1^{mm}. Elles se rapprochent d'un type que je vais décrire d'abord. Sa forme serait à peu près celle d'un octogone régulier : quatre des côtés sont parallèles aux diagonales de la face p ; les quatre autres, parallèles aux arêtes b, sont interrompus en leur milieu par une saillie ou par un angle rentrant. La masse est fendillée par des craquelures dont les plus constantes et les plus nettes sont les quatre diagonales qui joignent les sommets opposés de l'octogone.

Entre nicols croisés, on remarque d'abord une croix noire formée de quatre secteurs de 15° à 20° seulement, se dirigeant du centre de la figure vers les côtés parallèles aux arêtes b du cristal. Ce sont eux qui brisent quatre côtés de l'octogone en faisant ordinairement saillie. Ils sont compris latéralement entre deux lignes brisées en échelons. Je les désigne par la lettre A. Le reste de la figure forme une croix brillante composée de quatre grands secteurs biréfringents, dont chacun est divisé en trois petits secteurs distincts, par les diagonales de l'octogone. Le secteur médian B a 45° d'ouverture et s'éteint parallèlement à sa bissectrice, le secteur droit C s'éteint à 5° environ vers la droite, et l'autre C′, symétrique de C, à 5° vers la gauche.

A l'aide d'une lame de quartz teinte sensible on peut voir que la différence de marche est de même signe dans les secteurs contigus C, B, C′, ainsi que dans les trois secteurs opposés, mais qu'elle est de signe contraire dans les secteurs situés à 90° les uns des autres. Une figure de $0^{mm},03$ d'épaisseur environ a, dans ces conditions, deux secteurs verts et deux orangés, correspondant à une biréfringence de l'ordre du $\frac{1}{500}$.

Il n'est pas rare de trouver un quadran complet possédant à la fois les quatre secteurs A, B, C, C′; mais le plus souvent quelques secteurs manquent et les autres sont d'autant plus ouverts. On trouve même des figures formées d'une seule plage. Si elle est orientée optiquement comme le secteur B de la figure complète, par exemple, elle a la forme d'un rectangle dont les côtés sont parallèles aux diagonales de la face p.

En général, le centre des figures est ainsi formé d'une seule plage. Les autres ne prennent naissance qu'à des distances plus ou moins grandes du centre, c'est-à-dire à des époques variables de la croissance.

Sans prétendre expliquer toutes ces particularités : l'orientation optique des plages, la localisation de telle plage dans tel secteur, l'ouverture plus ou moins grande de chaque secteur, on peut du moins en rapprocher d'autres phénomènes analogues de la Cristallographie. La fluorine [1], par exemple, n'est pas toujours isotrope : le cube se divise quelquefois en 24 tétraèdres dont le sommet commun est au centre du cristal et dont les bases sont les triangles rectangles formés sur les faces par une arête et deux diagonales. Chacun de ces tétraèdres est biréfringent et son orientation optique est en corrélation avec sa position dans le cube. Le nitrate double de plomb et de baryum [2], bien qu'il cristallise en octaèdres réguliers, n'est pas isotrope non plus : chaque pyramide ayant pour sommet le centre du cristal et pour base une face de l'octaèdre est optiquement uniaxe et se trouve orientée de telle sorte que l'axe optique est normal à la face de l'octaèdre.

On s'accorde généralement aujourd'hui pour attribuer cette biréfringence à un état de tension interne survenu pendant la croissance, et prenant, pour cette raison, une orientation déterminée par rapport aux faces des cristaux.

Une hypothèse analogue peut convenir aux figures de déshydratation du ferrocyanure de potassium. Là, comme dans la fluorine ou le nitrate de plomb et de baryum, il y a une corrélation entre l'orientation optique et la surface d'accroissement d'un secteur, corrélation très nette malgré la courbure des faces.

D'ailleurs, le départ de 3^{mol} d'eau ayant rompu l'équilibre cristallin, on conçoit très bien qu'il en résulte des tensions internes dans la substance transformée et que la direction de ces tensions dépende de la surface cristalline attaquée. La matière déshydratée ne prendrait ensuite que très lentement une position d'équilibre, et c'est pourquoi elle resterait biréfringente.

BOTANIQUE. — *Variations culturales progressives du Champignon basidiomycète charnu* (Tricholoma nudum). Note de M. **Louis Matruchot**, présentée par M. Gaston Bonnier.

Depuis une douzaine d'années, je poursuis quelques expériences de longue haleine en vue de rechercher l'influence des conditions de milieu sur

(1) Cf. F. Wallerant, *Mémoire sur la fluorine* (*Bull. Soc. minéralogique*, t. XXI).

(2) Cf. F. Wallerant, *Théorie des anomalies optiques* (*Bull. Soc. minéralogique*, t. XXI).

la variabilité d'un Champignon basidiomycète, le *Tricholoma nudum*, vulgairement « Pied-bleu ».

L'expérimentation sur les Champignons basidiomycètes charnus est rendue difficile par la lenteur de leur évolution et aussi par le fait qu'on ignore, pour presque tous, les conditions mêmes du développement normal, autrement dit qu'on ne sait pas les *cultiver*. Mais des recherches antérieures, effectuées en collaboration avec M. J. Costantin ([1]), ayant déterminé avec assez de précision les conditions de développement du Pied-bleu, j'ai choisi cette espèce comme matériel d'études.

Parmi les problèmes que je m'étais posés, figurait celui de l'*acclimatation en cave* de ce Champignon, c'est-à-dire de sa culture indéfiniment renouvelée, à l'obscurité et à température constante, pendant un temps très long ([2]).

La première série d'expériences, dont je vais donner ici les résultats, a porté sur des cultures issues d'un unique mycélium originel, cultivé sur meules de feuilles de hêtre, et bouturé indéfiniment, une fois chaque année au cours de l'hiver, à l'aide de filaments mycéliens encore jeunes pris sur une culture de l'année précédente.

1. Tout d'abord le mycélium ainsi bouturé montre une *vitalité indéfiniment persistante*. Ceci a d'autant plus d'intérêt théorique et d'importance pratique qu'il n'en est pas de même pour le Champignon de couche, dont le mycélium, cultivé sur du fumier fermenté, ne se prête, comme on sait, qu'à un petit nombre de bouturages successifs.

2. Un second point est la *persistance de la faculté de fructification*, qui n'a pas faibli, même après onze reports annuels.

3. Non seulement la faculté de fructification s'est maintenue intacte, mais elle s'est en quelque sorte accrue, en s'étendant *à toutes les saisons de l'année*. Dans la nature le Pied-bleu, espèce d'automne, se montre rarement hors de la période octobre-décembre; dans nos essais de culture en collaboration avec M. Costantin, nous avions récolté des chapeaux à des époques assez espacées de janvier à juillet; avec mes récentes cultures, il n'est pas de mois de l'année où je n'aie pu récolter de Pied-bleu dans les caves de l'Observatoire. La preuve est donc faite que le *Tricholoma nudum*, cultivé en cave profonde, peut fructifier en toute saison de l'année.

([1]) Costantin et Matruchot, *Sur la culture du Champignon comestible, dit « Pied-bleu »* (Tricholoma nudum) (*Revue générale de Botanique*, t. XIII, 1901, p. 449).

([2]) Ces expériences ont été poursuivies dans une cave en sous-sol de l'Observatoire dont M. Baillaud a eu l'obligeance de me laisser la libre disposition; la température y est constante (11°) et l'obscurité complète.

4. La culture en cave, à l'aide de mycélium indéfiniment bouturé, fait apparaître des *modifications importantes dans la forme générale du Champignon*, à tel point que certains caractères spécifiques et même génériques du *Tricholoma nudum* se sont atténués progressivement jusqu'à disparaître totalement.

Les individus ont pris un caractère de *gigantisme* très marqué : chapeau de 14^{cm} de diamètre; pied de 15^{cm}-18^{cm} de hauteur sur 4^{cm}-5^{cm} d'épaisseur, démesurément grossi et tuméfié, creux, lobé, fendu et presque subdivisé longitudinalement.

Le chapeau, à bords très fortement repliés et marginés, est *légèrement infundibuliforme;* les lames qu'il porte sont *longuement décurrentes* sur le pied et ne présentent plus *aucune trace du sinus caractéristique du genre Tricholome.*

Enfin le *pigment violet* si caractéristique de l'espèce *T. nudum*, qui lui doit son nom populaire de « Pied-bleu », n'existe plus, ni sur le pied qui est blanc, ni sur les lames qui sont de couleur crème, ni sur le chapeau qui est d'un blanc soyeux, à peine teinté d'une nuance café au lait très clair, nuance qui a progressivement remplacé la couleur noisette originelle.

Ces modifications de forme et de couleur n'ont pas apparu d'emblée, sauf en ce qui concerne le gigantisme du pied. La pigmentation violette du pied et la teinte noisette du chapeau n'ont disparu que progressivement. De même, la forte décurrence des lames et la disparition de leur sinus se sont faites d'une façon graduée, à mesure que le chapeau relevait ses bords et s'incurvait en son centre.

En résumé, l'expérimentation apprend que le *Tricholoma nudum*, cultivé en cave, à l'obscurité, à 11°, dans une atmosphère normalement hygrométrique, végète aussi vigoureusement que dans la nature; il garde la propriété de fructifier, et, bien qu'espèce automnale, il acquiert même celle de fructifier en toute saison; enfin il perd progressivement certains de ses caractères, en particulier son pigment violet, caractère spécifique, et le sinus de ses lames voisin du pied, caractère générique. Ce double changement s'observe sur tous les individus sans exception.

Malgré ces modifications si profondes de la forme et de la couleur du Champignon, l'hyménium, la baside et la spore gardent leurs caractères normaux de structure, de forme et de dimension. De plus le goût délicat et le parfum anisé de cette espèce subsistent intégralement, ce qui indique que le chimisme profond des cellules n'est pas sensiblement modifié.

PHYSIOLOGIE. — *Les signes objectifs de la fatigue dans les professions qui n'exigent pas d'efforts musculaires.* Note (¹) de M. **J.-M. Lahy**, présentée par M. Edmond Perrier.

Dans le travail industriel moderne, les efforts musculaires de l'ouvrier tendent de plus en plus à être éliminés. Les professions nouvelles que détermine le progrès des techniques exigent avant tout la mise en œuvre de l'activité psychique de l'homme.

Nous nous sommes donc proposé de rechercher les signes objectifs de la fatigue dans les professions qui n'exigent pas d'efforts musculaires. Depuis 1903, nos observations ont porté sur des travailleurs divers : les commis ambulants des postes, les imprimeurs, les linotypistes, les dactylographes.... Les résultats concordants de ces expériences nous incitent à communiquer, d'abord dans une note brève, les conclusions générales auxquelles nous avons abouti. Nous ne rappellerons ici que les documents recueillis au cours d'une seule enquête sur le travail des imprimeurs linotypistes. Cette enquête, qui a porté sur douze sujets, a duré trente jours, divisés en deux périodes. Le travail n'excédait pas huit heures par jour. Les sujets ne se plaignaient pas de surmenage grave. Nous avons toujours pris des sujets-témoins, accomplissant des travaux différents qui n'exigeaient pas une attention soutenue. Nous avons mesuré l'influence du travail sur : l'attention, les diverses mémoires, l'acuité visuelle, la sensibilité tactile et musculaire, les réflexes, la force dynamométrique, le pouls radial, la pression du sang et la rapidité du temps de réaction.

Les résultats les plus précis et les plus constants nous ont été fournis par les troubles circulatoires (pression du sang) et les troubles de l'activité nerveuse (temps de réaction). Il semble donc que les effets de la fatigue n'atteignent pas, dans les conditions données, l'activité psychique proprement dite, mais seulement les fonctions soumises aux effets « massifs » du travail. Dans la hiérarchie des fonctions, l'activité nerveuse automatique et la régulation plus automatique encore de la pression du sang occupent un rang moins élevé et sont moins susceptibles de récupérer les forces dépensées que les fonctions dites supérieures.

Comme nous ne pouvons pas reproduire ici toutes les mesures prises au

(¹) Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

cours des expériences, nous avons établi, pour quelques sujets, la moyenne individuelle des variations pour la durée de toute une série de recherches, afin d'indiquer le sens des variations.

Temps de réaction. — Résultats d'une de nos séries de recherches :

Sujet 1 (travail à la machine)	augmentation de	....	4,82 ($\frac{1}{100}$ de sec.)
» 2	»	....	2,65 »
» 3	»	....	2,40 »
» 4 (compose à la main)	»	....	1,60 »
» 5 (sujet-témoin, expérimentateur)	diminution de		3,20 »

La valeur fonctionnelle des centres nerveux automatiques est bien caractéristique des travaux industriels que nous appelons modernes, puisqu'on voit que le travail du compositeur à la main, de l'employé de bureau, de l'expérimentateur, aussi important comme durée, diminue moins l'activité de ces centres.

Pression du sang. — En opérant comme pour les temps de réaction, nous avons établi la moyenne individuelle des variations pour la durée des expériences.

Voici, à titre d'exemple, les résultats d'une de nos séries :

Sujet 1 (travaille à la machine)	augmentation de	.....	3,00 cm Hg
» 2	»	....	2,40 »
» 3	»	....	1,70 »
» 4 (compose à la main)	»	....	0,70 »
» 5 (sujet témoin)	»	....	0,55 »

Les mêmes remarques que nous avons formulées pour le temps de réaction se trouvent vérifiées pour la pression du sang. L'effort d'attention soutenu qu'exige le travail à la machine perturbe plus profondément la circulation que le même effort d'attention autrement appliqué.

Ces signes, qui correspondent à une fatigue réelle des organes essentiels à la vie végétative et à l'activité nerveuse, sont en rapport avec le rendement professionnel. Nous avons réuni à ce sujet un certain nombre d'observations. Voici, à titre d'exemple, le parallèle qu'on peut établir entre la fatigue réelle et le rendement de quelques linotypistes.

Les chiffres qui expriment les modifications physiologiques n'ont de valeur que pour indiquer *le sens* des variations dans le cas présent :

Sujet X...

Sensation de fatigue.	Modifications physiologiques — Pression du sang.	Temps de réaction.	Production moyenne par heure.
Mardi, fatigué...........	+1,25	+1,60	7840 lettres
Mercredi, pas fatigué.....	+0,75	+0,60	corrections
Jeudi, très fatigué........	+2,00	+3,00	8765 lettres
Vendredi, pas fatigué.....	+0,75	+0,45	6892 lettres
Samedi, fatigué..........	+1,50	+1,45	corrections
Mardi, fatigué...........	+2,75	+2,2	7543 lettres
Mercredi, pas fatigué.....	+0,26	+1,2	7058 lettres
Jeudi, très fatigué........	+3,75	+4,5	7866 lettres
Vendredi, pas fatigué.....	+0,75	+0,8	7159 lettres
Samedi, pas fatigué......	+1,50	+2,6	6175 lettres

On voit qu'il existe un rapport direct entre l'augmentation de la pression du sang, la diminution de la durée du temps de réaction et la production du travailleur.

La pression du sang comme la réaction nerveuse résultent de mécanismes automatiques d'un jeu très délicat, qui nous révèlent des signes organiques de la fatigue.

Il sera possible, pensons-nous, de perfectionner et d'étendre les méthodes susceptibles de déceler la fatigue, avant même que le sujet en ait perçu la sensation ; mais les signes déjà observés nous paraissent être provisoirement suffisants pour trancher certains conflits du travail.

En raison de la diversité des travaux qui nécessitent une attention soutenue et en raison aussi des caractères physiologiques individuels, on ne peut pas fixer, une fois pour toutes, les chiffres qui indiquent les limites où le travail devient nocif.

Il convient de recourir à des expériences nouvelles pour chaque profession et chaque milieu particuliers. Ce faisant, on arrivera aisément à déterminer la durée du travail au delà de laquelle les signes de la fatigue apparaissent chez la plupart des travailleurs. Nos recherches ont d'ailleurs prouvé qu'il n'existe pas un écart important entre la sensibilité à la fatigue des travailleurs excellents et celle des ouvriers de moyenne valeur.

PHYSIOLOGIE. — *Étude et traitement du bégaiement par la Photographie.* Note de M. **Marage**, présentée par M. d'Arsonval.

Le bégaiement est un état choréique intermittent de tous les organes de

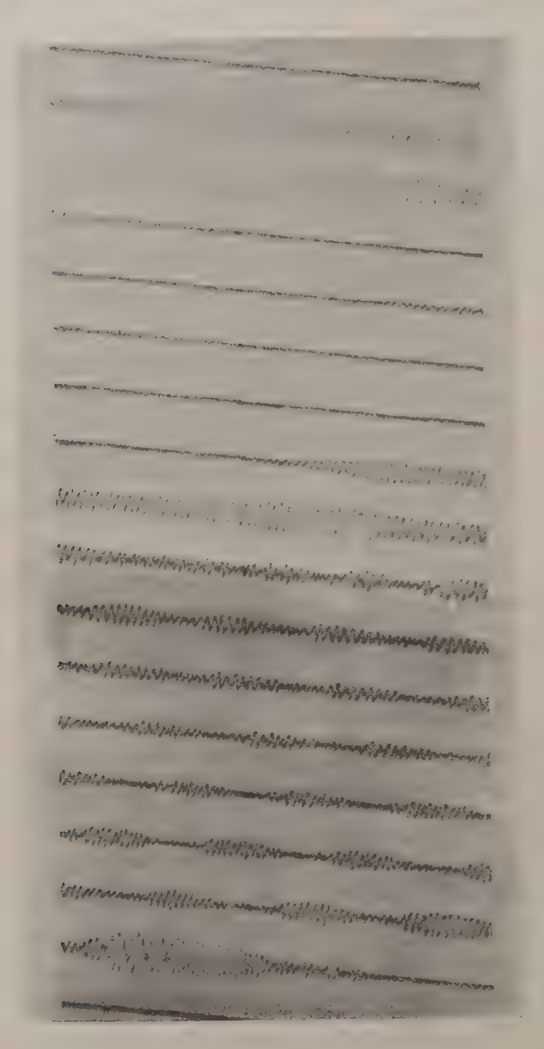


Fig. 1. — *Bonjour* prononcé par un sujet normal.

la phonation : poumons, larynx et bouche.

Quand on veut guérir cette affection, il faut :

1° Faire *voir* au malade son défaut;
2° Lui faire *voir* le moyen d'y remédier.

J'ai pu constater souvent, en effet, dans mon cours à la Sorbonne, que les élèves comprennent beaucoup mieux quand on leur fait voir leurs qualités et leurs défauts sur un film cinématographique ou sur une photogra-

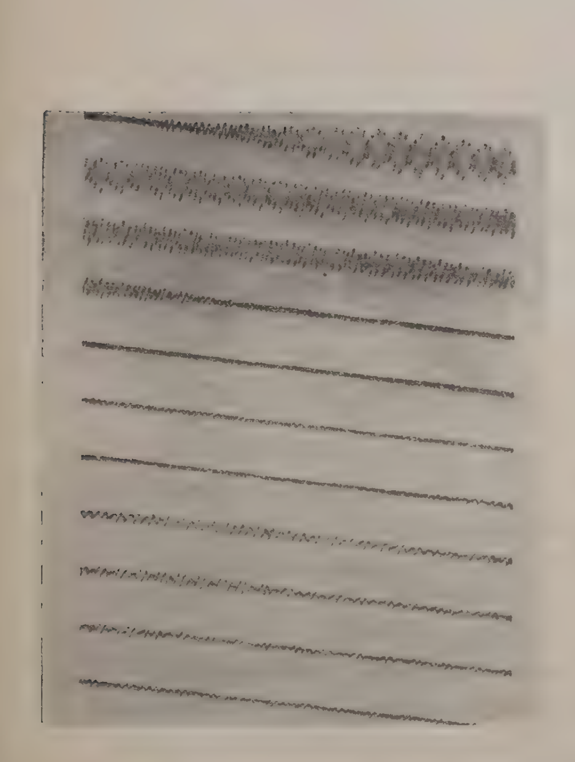


Fig. 2. — *Papa* prononcé par un sujet normal.

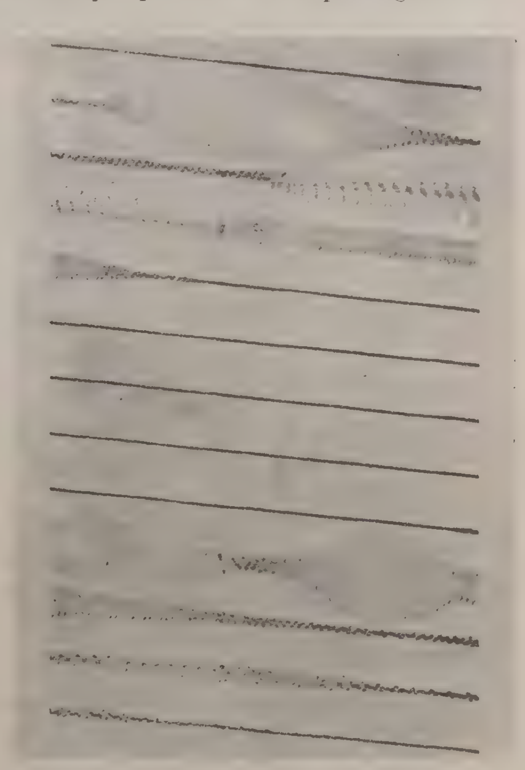


Fig. 3. — *Bonjour papa* prononcé par un bègue.

phie des vibrations, que si on leur fait entendre leur voix inscrite au phonographe; ils mettent toujours, en effet, sur le compte de l'instrument, les imperfections qu'ils constatent et ils n'ont pas tout à fait tort.

Dans l'étude du bégaiement, j'ai opéré de la façon suivante :

1° J'ai cinématographié en même temps sur le même film un sujet normal et un sujet bègue, prononçant la même phrase.
2° Je les ai photographiés ensuite séparément.

Avec ces trois films, l'élève peut étudier chez lui, à loisir, et noter à côté du film les points où il bégaie.

3° J'ai photographié les vibrations de la voix normale et de la voix bégayante.

Les trois clichés précédents représentent les deux mots : *Bonjour papa*.

Normalement, ils durent $\frac{36}{7}$ de seconde, avec un repos de $\frac{8}{7}$ de seconde entre les deux mots et de $\frac{4}{7}$ de seconde entre les syllabes de chaque mot.

Les explosives B et P sont peu marquées, comme cela se présente toujours dans le langage ordinaire.

Chez le bègue, au contraire, les deux mots durent $\frac{12}{7}$ de seconde (trois fois moins), avec un repos de $\frac{4}{7}$ de seconde (moitié moins) entre les deux mots, et aucun intervalle entre les syllabes. Les explosives sont énormes.

Quand un bègue a vu ce défaut, il le comprend et ne l'oublie plus. Or, le bègue parle plus vite parce qu'il respire mal et qu'il est toujours à bout de souffle; il faut donc, avant tout traitement, lui apprendre à respirer.

Pour obtenir ce résultat, il suffit de lui faire faire les trois exercices respiratoires que j'ai indiqués dans les *Comptes rendus* de novembre 1907.

Ce procédé est employé depuis plusieurs années à Nantes, à l'école des Sourds-Muets de la Parsagotière, par les professeurs Coissard et Rangé, et il a donné les meilleurs résultats.

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE. — *Sur l'économie d'aliments réalisable par l'élévation de la température extérieure.* Note de M. **Louis Lapicque**, présentée par M. A Laveran.

Dans une Note insérée aux *Comptes rendus*, séance du 23 février dernier, M. Miramond de Laroquette rapporte que des cobayes mis en observation dans une cage vitrée exposée au soleil ont consommé un peu moins de nourriture en été qu'en hiver; il en conclut qu'il y a « par les animaux comme par les plantes, utilisation de l'énergie rayonnante du soleil..., nutrition par la chaleur... ».

M. Miramond de Laroquette veut bien rappeler à ce propos les mesures que j'ai faites au cours du voyage de la *Sémiramis* sur la ration d'entretien chez les populations tropicales. Cette ration, en effet, est moindre que sous nos climats; mais on n'en peut pas déduire que l'énergie lumineuse ou calorique de l'ambiance soit utilisable pour la vie animale; et une telle conclusion, inconciliable avec toute notre Physiologie générale, ne ressort

pas davantage des expériences actuelles de l'auteur; celles-ci se réfèrent simplement à un fait connu, étudié à diverses reprises depuis mes observations de 1894. M. Maurel (de Toulouse), qui avait de son côté observé des régimes tropicaux, a démontré, précisément chez le Cobaye, ainsi que chez le Hérisson, une variation de la ration alimentaire en fonction de la température extérieure; je ne puis dire de la ration d'entretien, puisque la constance des poids des sujets n'a pas été obtenue. Les oiseaux (autres que nos oiseaux de basse-cour) sont des sujets particulièrement favorables, en ce qu'ils règlent spontanément leur ration alimentaire de façon à maintenir leur poids constant. C'est ce qu'a noté, dans un travail effectué en 1902 sous ma direction, M. Larguier des Bancels (1) qui a vu la ration journalière du Pigeon passer régulièrement, suivant la température extérieure, de 80^{cal} pour 9°, à 55^{cal} pour 25°. J'ai repris ces recherches en 1909 avec Mme Lapicque (2), sur une série de granivores de taille décroissante jusqu'au Bengali qui pèse de 7^{g} à 8^{g}. L'élévation graduelle de la température ambiante entraîne parallèlement une économie de nourriture d'autant plus considérable que l'animal est plus petit. Chez le Bengali à 39°, l'économie atteint les *deux tiers* de la ration nécessaire à 16°. Il ne peut y avoir aucune contestation de fait sur un phénomène aussi marqué (3).

Il n'y a d'ailleurs aucune difficulté à le faire rentrer dans le cadre de nos connaissances si l'on pose la question comme ceci :

Les fonctions vitales d'un animal nécessitent la combustion en un temps donné d'une certaine quantité d'aliments, dont l'énergie se transforme tout entière (dans l'organisme au repos) en une certaine quantité de chaleur que nous appellerons *chaleur fonctionnelle*. D'autre part, s'il s'agit d'un animal à *sang chaud*, l'organisme perd dans le même temps une quantité de chaleur conditionnée par l'excès de sa température propre, qui est fixe, sur la température du milieu ambiant. Il n'y a pas de raison logique pour que ces deux débits de chaleur soient précisément égaux. En fait, sous nos

(1) Thèse de l'Université de Paris (Faculté des Sciences), 1902.

(2) *Société de Biologie*, 20 février, 27 mars et 31 juillet 1909.

(3) On pourrait citer bien des observations confirmatives, tant en France qu'à l'étranger. Tout récemment, M. Maignon a communiqué à l'Académie (27 janvier 1913) des recherches sur le Cobaye où il a observé une influence saisonnière génitale indépendante de l'influence de la température extérieure. Mais il ne nie pas celle-ci dans le sens où je l'avais indiquée. Une phrase de sa Note semble négative à cet égard (p. 348 *in fine*); c'est que l'expression rend mal sa pensée, comme M. Maignon a bien voulu me l'écrire en réponse à une lettre où je lui demandais de m'éclairer sur ce point.

climats, la chaleur fonctionnelle est généralement inférieure à la chaleur perdue. Pour que la température du corps demeure constante dans tous les cas, il reste à fournir un certain complément, réglable suivant les circonstances. J'ai appelé ce complément la *marge de thermogénèse*. L'économie d'aliments par l'échauffement de l'ambiance, comme par l'apport de chaleur quelconque (diathermie électrique, par exemple), est limitée à cette marge, qui représente un pur besoin de chaleur, et non un besoin d'énergie vitale.

La marge de thermogénèse varie avec la grandeur de l'animal, parce que les pertes de chaleur se font surtout par la surface. A la température ordinaire de nos appartements, elle est égale, chez l'Homme, à la moitié environ de la chaleur fonctionnelle, d'après la détermination de M. J. Lefèvre qui concorde assez bien avec mes mesures ethnographiques; chez le Bengali, elle forme les deux tiers de la dépense totale; elle atteint par conséquent le double de la chaleur fonctionnelle. Chez le Cobaye, quelle que soit l'incertitude des chiffres, elle est certainement beaucoup plus grande que les faibles variations de ration alimentaire observées par M. Miramond de Laroquette, même en y ajoutant les variations du poids des sujets qui viennent compliquer l'expérience. Il n'y a aucune raison d'admettre dans cette expérience une *nutrition par la chaleur*, une utilisation du rayonnement solaire pour les besoins énergétiques des fonctions vitales.

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Nouvelles recherches sur un ferment contenu dans les eaux, agent de déshydratation de la glycérine*. Note de M. **E. Voisenet**, présentée par M. Armand Gautier.

Dans une Note précédente (¹), j'ai fait connaître que le milieu de culture suivant : sulfate d'ammoniaque $4^g,70$, phosphate de potasse $0^g,75$, sulfate de magnésie $0^g,10$, peptone 10^g, glycérine 10^g, eau ordinaire 1 litre, soumis à la température 25°-30°, devient rapidement le siège d'une fermentation avec production d'acroléine.

L'agent du phénomène provient de l'eau, car cette fermentation se reproduit en ensemençant le même milieu stérile, avec de l'eau ordinaire. J'ai appliqué cet essai à des eaux d'origines très diverses, toutes ont confirmé ce résultat. La présence dans l'eau d'un ferment figuré capable de déshydrater la glycérine paraît donc générale.

(¹) *Comptes rendus*, t. 158, 1914, p. 195.

Au bout de 1 à 2 jours, le réactif protéique acide, agissant directement sur le liquide, révèle généralement l'existence de l'acroléine : cette reconnaissance n'est certaine par les autres réactions qu'après distillation. Quelquefois, l'apparition de cette aldéhyde est plus rapide ou plus tardive : elle se forme aussi à température plus basse, 20°, 18° ou 15°, mais au bout d'un temps plus long; elle apparaît également à la température de 35°, mais se transforme rapidement. Elle naît en milieu fortement magnésien, ou moins peptoné, ou purement minéral, et sa production est toujours précédée de celle d'une autre aldéhyde, vraisemblablement le *propanolal*-1.3.

En rectifiant à l'aide d'un tube à distillation fractionnée des liquides de fermentation donnant par le réactif une coloration verte ne virant pas au bleu, indice d'une teneur maxima en acroléine, l'odeur à l'extrémité du réfrigérant est intolérable au début la distillation; le larmoiement est intense, même lorsque l'expérience ne porte que sur un litre de culture.

Dans ce procès fermentatif de la glycérine, comme dans celui qu'elle subit sous l'action du ferment des vins amers, l'évolution de cette substance et de ses produits successifs de déshydratation, *propanolal* et *acroléine*, est subordonnée à divers facteurs, tels que : température, milieu nutritif, qualité et quantité du ferment, vie aérobie ou anaérobie, etc.

Lorsque toutes ces conditions s'accordent pour conférer au ferment l'activité déshydratante maxima, la première aldéhyde ne subsiste pas et est transformée dans la seconde, presque au fur et à mesure de sa production; il en résulte un changement, souvent subit, dans l'allure de la réaction, se traduisant par le passage du rose violacé au vert dans deux essais, à court intervalle, de la même culture. C'est alors que le réactif protéique acide donne la coloration verte intense témoin de la richesse du liquide en acroléine et de l'instant propice pour son extraction.

Au contraire, lorsque le ferment se présente à la glycérine avec une activité déshydratante minima, ainsi qu'il arrive au début et à la fin de la fermentation, mais, pour des causes différentes, la première aldéhyde domine par rapport à l'acroléine dont la présence est cependant révélée par la nuance bleue finale de la réaction.

Exceptionnellement, le réactif donne uniquement, même au milieu de l'opération, la teinte rose violacé due à la première aldéhyde : dans ce cas, ou bien le ferment est impuissant à effectuer la seconde phase de la déshydratation, ou plutôt la formation de l'acroléine est trop réduite, ses métamorphoses sont trop rapides, pour qu'elle puisse être nettement reconnue.

La coloration rose violacé est bien due à une aldéhyde dont la présence est d'ailleurs révélée par le réactif de Schiff : sa production à partir de la glycérine, sa transformation simultanée en acroléine, sa réaction colorée

permettent d'identifier cette aldéhyde avec le propanolol-1.3 ou aldéhyde hydracrylique.

Cette coloration ne peut être attribuée à la peptone, car elle se manifeste aussi en culture purement minérale. Il importe également de ne pas les confondre avec la réaction analogue que peut produire l'acide chlorhydrique nitreux agissant seul sur l'albumine dans certaines conditions que j'ai précisées ([1]).

En rectifiant les liquides de culture qui donnent avec le réactif protéique acide la coloration verte, signe de la richesse maxima en acroléine, j'ai pu isoler une quantité suffisante d'acroléine pour la caractériser par sa transformation en acide acrylique et sous forme de son sel d'argent.

Chaque culture, du volume de 5^l, est soumise à la distillation, et le premier fractionnement est rectifié une seconde fois sur de l'oxyde de plomb, pour fixer les traces d'acides volatils; ce dernier distillatum, du volume de 100^{cm^3} environ, est aussitôt mélangé d'oxyde d'argent récemment précipité et lavé; on abandonne pendant 2 jours à la température ordinaire et dans l'obscurité, en agitant de temps en temps; quand l'odeur acrylique a disparu, on porte à l'ébullition et l'on filtre.

L'ensemble des liqueurs ainsi obtenues, du volume de 1^l environ et provenant de 50^l de culture, est additionné de carbonate de soude jusqu'à réaction alcaline : on filtre, on évapore à sec et l'on traite le résidu par de l'acide sulfurique dilué de son volume d'eau; on filtre à nouveau, et la liqueur est soumise à la distillation. Le distillatum, saturé à chaud par l'oxyde d'argent, filtré, laisse déposer, par refroidissement dans l'obscurité, des cristaux prismatiques, à éclat velouté, brunissant lentement à la lumière. Ce produit cristallin, recueilli et séché à 95°, pèse $1^g,28$. Soumis à l'analyse, $0^g,5778$ ont donné : $0^g,4204\,CO^2$; $0^g,0904\,H^2O$; $0^g,3498\,Ag$; nombres qui permettent d'établir la composition centésimale suivante :

	Trouvé.	Calculé pour $C^3H^3O^2Ag$.
C	19,85	20,11
H	1,74	1,68
O	»	17,88
Ag	60,54	60,33
		100,00

résultats qui concordent avec la composition de l'acrylate d'argent.

Il est à remarquer que, dans cette opération, la présence d'aldéhyde hydracrylique ne nuirait pas à l'exactitude de l'analyse : l'acide résultant de son oxydation étant décomposé par l acide sulfurique en eau et acide acrylique.

([1]) *Sur une réaction colorée des albuminoïdes* (*Bulletin de la Société chimique*, t. XXXIII, 1905, p. 1200).

CHIMIE PHYSIOLOGIQUE. — *Sur les ferments du lait chez les Touareg.* Note de M. G. de Gironcourt, présentée par M. A. Müntz.

La consommation du lait, en nature ou à l'état de fromage, acquiert, dans tout le Soudan, une importance d'autant plus grande que les indigènes pasteurs, touareg ou peuls, n'abattent jamais en principe les animaux femelles pour la boucherie et que, d'autre part, l'exploitation pastorale des bovidés représente, pour ainsi dire, l'unique ressource des territoires semi-désertiques du Moyen-Niger.

D'un autre côté, si, dans nos postes du Niger, les maladies du tube digestif (entérocolites, etc.) sont fréquentes chez les Européens qui ont souvent pour cause l'usage de l'eau du fleuve non bouillie, il est, par contre, peu d'exemples de ces affections dans l'intérieur du pays, où le voyageur est amené à consommer journellement le lait des troupeaux. L'emploi de ce lait cru détermine, il est vrai, assez fréquemment, dans les premiers temps au moins, des effets purgatifs dont la constance a été remarquée. Mais l'abondance du lait dans toute la zone sahélienne, si dépourvue de fruits, est un avantage alimentaire précieux, non seulement pour les indigènes, mais pour les Européens. A ce double titre, l'étude de ce lait lui-même et de ses dérivés comporte de l'intérêt.

Une des caractéristiques du lait des troupeaux touareg ou peuls est la rapidité de son caillage spontané, même par les températures assez basses de la saison hivernale ($+6^\circ$ à $+15^\circ$ dans les journées les plus fraîches au Niger); les populations indigènes, d'ailleurs, semblent marquer souvent une préférence à consommer leur lait après caillage. La malpropreté des récipients dans lesquels s'effectue la traite pourrait être invoquée pour expliquer cette rapidité, mais elle ne saurait suffire, et il faut l'intervention de microorganismes spéciaux.

L'examen de ces microorganismes motive la présente addition à mon étude d'ensemble présentée précédemment à l'Académie (*Comptes rendus* 2e sem. 1911, p. 191). Il s'agit en particulier d'un Bacille qui serait le *Bacillus lacticus* Pasteur, avec la propriété de n'être pas pathogène, et d'un streptobacille se rapprochant du *Bacillus bulgaricus* Grigoroff. Ces bacilles ont pu être isolés par M. Sartory, professeur à l'École de pharmacie de Nancy, au cours d'une nouvelle série de recherches bactériologiques, effectuées sur les échantillons que j'ai pu lui soumettre, lesquelles complètent celles poursuivies en 1911 et dont il précise comme suit les résultats :

En plus des microorganismes isolés par M. M. Heim et nous, il nous a été permis de déceler dans ce fromage d'autres organismes intéressants et qui doivent certainement jouer un rôle dans la préparation de cet aliment :

1° Un bacille décrit ci-dessous;
2° Un streptobacille se montrant très actif dans la coagulation du lait;
3° Une levure blanche du genre Saccharomyces;
4° Une mucédinée du genre *Penicillium*.

Microorganismes bactériens.

1° Morphologie et biologie du bacille. — Les éléments sont de courts bâtonnets immobiles, mesurant en moyenne $1^{\mu},7$, mais dont la longueur peut varier entre 2^{μ} et 3^{μ}, la largeur est plus constante, de $0^{\mu},6$ environ. Ces éléments sont isolés ou réunis deux par deux ou en chaînettes d'un très petit nombre d'articles. Nous ne constatons pas la formation de spores.

Ce bacille est coloré par les couleurs d'aniline et reste coloré par la méthode de Gram. C'est une espèces aérobie qui peut être cultivée sur tous les milieux usuels employés en bactériologie.

Sur plaque de gélatine, il se forme, en 36 heures ou 48 heures, de petites colonies grises porcelanées qui s'étalent à la surface en prenant des bords sinueux transparents, tandis que le centre reste opaque et devient un peu jaunâtre.

Sur gélatine en piqûre, il se forme dans le canal de petites sphères et à la surface une culture grisâtre très luisante. *En strie* ce sont de petites colonies circulaires qui confluent et produisent bien vite une bande blanchâtre, crèmeuse.

Sur gélose, il se produit une bande laiteuse très luisante également et il apparaît toujours des bulles de gaz dans la masse.

Sur pomme de terre, culture crèmeuse, d'un blanc jaunâtre assez épaissie.

Dans le bouillon, il y a trouble rapide et formation à la surface d'un voile blanchâtre très friable.

Le lait mis en culture à $+28°$ se coagule très vite, de 18 heures à 24 heures, et se prend en une masse gélatineuse, homogène, où se forment quelques canalicules. Quelques bulles de gaz carbonique apparaissent dans la masse.

Le coagulum se rétracte, un sérum clair se sépare peu à peu du caillot blanc de caséine. A la surface s'accumule la matière grasse intacte.

La *caséine* n'est pas modifiée. Cette bactérie ne possède donc aucune action peptonisante. Une solution de *saccharose* stérilisée et ensemencée se trouble très vite, il se forme au fond du récipient une masse glaireuse visqueuse. Il y a production d'acide et au bout d'un certain temps, par suite d'une trop grande acidité du milieu, la fermentation s'arrête. En ajoutant au préalable du carbonate de chaux qui neutralise l'acide produit, l'action peut être prolongée; l'acide produit est de l'acide lactique.

Nous avons inoculé ce bacille à un cobaye (sous la peau). L'animal n'a pas été incommodé. Même résultats pour le lapin.

En se basant sur les caractères de ce genre, nous pouvons l'identifier avec le *Bacillus*

lacticus Pasteur. Ce dernier cependant, d'après Würtz et Leudet [1], serait pathogène. Là se trouve la seule différence.

2° Étude du streptobacille. — Les éléments de ce bacille sont des bâtonnets assez fins de 7^{μ} à 8^{μ} de long sur $0^{\mu},4$ à $0^{\mu},5$ immobiles, à extrémités arrondies, le plus souvent en longues chaînes, parfois même en filaments, notamment sur bouillon lactosé.

Ils se colorent bien aux couleurs d'aniline et restent colorés par la méthode de Gram. Le microbe est un anaérobie facultatif. Il commence à végéter à + 19°, pousse un peu à + 37°; son optimum cultural est compris entre + 38 et 45°.

La gélatine, la gélose et le bouillon ordinaire sont des milieux peu favorables à la culture. Il végète bien sur gélose glucosée, saccharosée, lactosée, maltosée, où il donne des colonies d'un blanc crème au début, puis jaunâtre. Il pousse très peu sur pomme de terre ordinaire, pas du tout sur pomme de terre glycérinée et acide.

Le lait est pour lui un excellent milieu. A la température de + 40° il est coagulé en moins de 10 heures. Il n'y a pas formation d'indol, ni de présure, ni de caséase dans les cultures.

Il attaque le lactose, le glucose, le maltose, la mannite, en donnant comme produits de l'acide lactique, de l'acide acétique, de l'acide oxalique et un peu d'acide succinique. La dulcite et la sorbite ne sont pas attaquées.

L'acide lactique est produit en grande quantité jusqu'à 20^{g} à 30^{g} par litre de lait.

Ce bacille se rapproche beaucoup du *Bacillus bulgaricus* Grigoroff.

3° Étude de la levure blanche. — Nous avons fait l'étude de cette levure, d'ailleurs banale, et qui donne des *axospores*. Elle peut être rapportée à l'espèce *Saccharomyces cerevisiæ*. Nous n'insistons pas sur ce ferment alcoolique.

4° Étude du penicillium. — Le support de longueur variable se termine par un très léger renflement. Les *stérigmates* disposés en pinceaux qui recouvrent la surface du support sont de dimensions très variables. Quand aux *conidies*, elles sont extrêmement irrégulières, sphériques ou légèrement ovales, nous avons constaté que les plus nombreuses mesuraient 9^{μ} à 10^{μ} de circonférence. Ces *conidies* forment des chapelets assez rapprochés les uns des autres. L'optimum cultural a été recherché en cultivant le champignon sur carotte (milieu de choix) à des températures comprises entre + 10° et + 40°. Cet optimum cultural se trouve compris entre + 24° et + 25°.

Cette espèce pousse sur tous les milieux usuels employés en mycologie. La caractéristique est de donner un mycélium jaune d'or et un pigment particulier jaune d'or également.

Elle liquéfie la gélatine, ne coagule pas le lait, ne liquéfie pas l'amidon.

D'après la vigueur et le poids des cultures sur les différents milieux liquides sucrés employés au cours de nos recherches, nous pouvons ranger les sucres les mieux assimilés par ce penicillium dans l'ordre suivant : glucose, saccharose, maltose, galactose, lévulose, lactose, inuline.

Le pigment jaune est soluble dans l'alcool éthylique, plus soluble dans la benzine,

---

(1) Wurtz et Leudet, *Recherches sur l'action pathogène du bacille lactique* (*Arch. méd. expér.*, t. III, 1891, p. 485).

le sulfure de carbone, l'acétone, l'éther, l'alcool-éther, insoluble dans l'eau, l'alcool méthylique.

Examiné au spectroscope, ce pigment donne un obscurcissement très net dans la région rouge. Nous ne constatons pas de bandes d'absorption. Ce penicillium peut être rapproché du *Penicillium aureum*.

PALÉOBOTANIQUE. — *Relations des empreintes de* Corynepteris *avec les* Zygopteris *à structure conservée*. Note de M. **Paul Bertrand**, présentée par M. R. Zeiller.

I. Le genre *Corynepteris* a été créé par Baily, en 1860, pour des Fougères houillères fructifiées, connues seulement à l'état d'empreintes.

En 1883, M. R. Zeiller décrivit, sous le nom de *Grand'Eurya*, les fructifications du *Sphenopteris coralloides* Gutbier et du *Sph. Essinghi* Andræ. Après un échange de vues avec M. Kidston, il reconnut que ces fructifications devaient être classées dans le genre *Corynepteris* Baily. La plupart des auteurs ont alors adopté le nom de *Corynepteris* pour désigner les frondes fertiles ou stériles des *Sphenopteris* analogues aux *Sph. coralloides* et *Essinghi*.

En 1902, H. Potonié proposa le nom d'*Alloiopteris* pour désigner les frondes stériles des mêmes *Sphenopteris*, estimant qu'il y avait lieu de réserver le nom de *Corynepteris* aux seules espèces dont les fructifications étaient connues et offraient bien les caractères du type décrit par Baily.

II. Le genre *Zygopteris* a été créé par Corda, en 1845, pour une Fougère silicifiée : *Z. primaria*, du Permien de Chemnitz. Plusieurs Fougères à structure conservée ont été classées dans le genre de Corda; les unes, provenant des silex d'Autun et de Saint-Étienne, furent décrites par B. Renault; les autres, provenant du Houiller d'Angleterre ou du Culm d'Écosse, furent décrites par Williamson.

Jusqu'ici on ne connaissait à l'état d'empreintes qu'une seule espèce de *Zygopteris* : le *Z. pinnata* du Stéphanien, décrit par M. Grand'Eury en 1877. L'attribution de cette espèce au genre *Zygopteris* était basée sur les fructifications, qui paraissaient identiques aux belles fructifications silicifiées de *Zygopteris* décrites par Renault en 1876.

III. M. Zeiller a insisté à plusieurs reprises sur *les analogies évidentes* des genres *Corynepteris* et *Zygopteris* [1].

---

[1] Voir notamment : R. Zeiller, *Éléments de Paléobotanique*, 1900, p. 77.

Il signala la ressemblance des fructifications de *Corynepteris* avec celles du *Z. pinnata* (1). Il signala de même la ressemblance des frondes stériles des deux genres : frondes très découpées, à limbe très réduit ou nul, pourvues d'*aphlebia* laciniées.

IV. Malgré les observations de M. Zeiller, il subsistait un certain doute sur les relations des genres *Corynepteris* et *Zygopteris*. Il restait à trouver un caractère morphologique, très net, reconnaissable à la fois sur les empreintes et sur les échantillons à structure conservée. Les empreintes récoltées dans le bassin houiller du Nord de la France permettent de combler cette lacune.

Un échantillon de *Corynepteris coralloides*, provenant de Bruay, fosse 2 *bis*, veine Célestine (zone A 2), montre à sa face supérieure un rachis primaire, couvert d'émergences spiniformes, et une belle penne primaire, garnie de pinnules caractéristiques; à la face inférieure de l'échantillon se trouve une seconde penne primaire, étalée au dos de la première et située dans un plan oblique à celui de la face supérieure. Une cassure transversale permet de constater que *les rachis des deux pennes s'insèrent au même point du rachis primaire et sont coalescents sur* $0^{cm},5$ *environ*.

Cette découverte a été contrôlée sur d'autres échantillons de *Coryn. coralloides* recueillis à Lens (2), fosse n° 10, veine à 850^{m}, et associés à *Nevropteris Schlehani* Stur. D'ailleurs, il suffit de disséquer des échantillons de *C. coralloides*, au niveau de l'insertion d'un rachis secondaire sur un rachis primaire, pour constater qu'un deuxième rachis secondaire vient toujours se réunir au premier.

Les observations que nous avons faites à Lens permettent de se faire une idée générale de la forme de l'appareil végétatif chez le *Corynepteris coralloides*.

La fronde prenait naissance sur un rhizome horizontal. Le rachis primaire, garni d'*aphlebia* à la base, avait l'allure d'un axe cylindrique, dressé verticalement; il portait des rachis secondaires, insérés en disposition alterne, suivant deux génératrices diamétralement opposées. Chaque rachis secondaire se bifurquait à une faible distance au-dessus de son point d'insertion. Les deux branches résultant de la dichotomie étaient situées dans un plan un peu oblique au rachis primaire; *elles étaient symétriques par rapport à un plan vertical, passant par le rachis primaire*. Elles subis-

(1) *Flore fossile du Bassin de Valenciennes*, 1888, p. 42.

(2) Nous tenons à remercier ici M. E. Reumaux, Directeur général des Mines de Lens, M. A. Villet, Chef du service des Études du fond aux mines de Lens, et leurs dévoués collaborateurs MM. les géomètres Célisse et Montaigne, pour le concours empressé qu'ils ont apporté à toutes nos recherches.

saient une légère torsion en sens inverse l'une de l'autre; il en résultait que les deux pennes primaires correspondantes se plaçaient dos à dos. Il y avait une *aphlebia* laciniée, insérée sur un mamelon, de chaque côté de la bifurcation des rachis secondaires. On sait qu'il y avait aussi des *aphlebia* à la base des rachis tertiaires.

Les caractères singuliers de la fronde du *Corynepteris coralloides* sont identiques à ceux que nous avons décrits chez les *Zygopteris* (1907-1909). Nous avons souligné ces caractères en disant que *le rachis primaire possède deux plans de symétrie à angle droit l'un sur l'autre*. Nous avons appelé *édification rectangulaire* cette structure. Enfin, nous avons signalé la présence d'*aphlebia* très découpées, chez les *Zygopteris* (*lato sensu*).

Mais les *Zygopteris* constituent en réalité une véritable famille (1). Dans la famille des Zygoptéridées, quatre genres pourraient être rapprochés des *Corynepteris;* ce sont : *Metaclepsydropsis*, *Diplolabis*, *Etapteris* et *Zygopteris* (*stricto sensu*). Il est probable que les frondes de *Corynepteris coralloides* Gutbier sont des empreintes d'*Etapteris*. Il en est sans doute de même de *C. quercifolia* Gœppert, *C. Essinghi* Andræ et *C. Sternbergi* Ettingshausen.

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE. — *Sur les encoches du verrou glaciaire.* Note (2) de M. E. Bénévent, présentée par M. Barrois.

Dans une étude récente (*Ann. de Géogr.*, 1910), M. de Martonne a donné une explication du verrou glaciaire signalé pour la première fois par M. Penck. Il semble avoir démontré d'une façon indiscutable que le creusement des ombilics (par conséquent la mise en relief de la barre du verrou) est l'œuvre du glacier. Je vais essayer d'établir que les encoches parfois nombreuses qui entament cette barre sont dues surtout au travail des eaux sous-glaciaires.

Les encoches d'un verrou, quel que soit leur nombre (le verrou de Saint-Marcel, en Tarentaise, en présente au moins une dizaine), portent toujours l'empreinte du façonnement glaciaire : leur forme est généralement celle d'une auge arrondie, aux bords souvent émoussés et polis. Mais comment le glacier a-t-il pu creuser dans la barre rocheuse des entailles présentant parfois avec les bosses qui les dominent une dénivellation de plus de 50m? (Dans le verrou de Saint-Marcel, par exemple, trois encoches ont une

(1) Voir P. Bertrand, *Études sur la fronde des Zygoptéridées*. Lille, 1909.
(2) Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

profondeur variant de 35^m à 50^m.) M. de Martonne fait très justement observer que le creusement du glacier est minimum au sommet du verrou. L'observation des chutes de séracs semble d'ailleurs confirmer pleinement cette théorie : l'adhérence du glacier est souvent faible, sinon nulle, au point où commence la rupture de pente. D'autre part, le creusement serait-il même appréciable au sommet de la barre, qu'il devrait s'effectuer alors sur toute la longueur du verrou. Or, une encoche paraît bien être l'œuvre d'une action rigoureusement localisée, si l'on considère que les parois en sont presque toujours abruptes. Il est donc difficile d'attribuer un travail si particulier à la masse même du glacier.

Un fait d'observation nous paraît éclaircir le problème et, en tout cas, nous suggère une solution. *Le cours d'eau actuel, dans sa traversée du verrou, s'est installé généralement dans l'encoche la plus voisine du versant le moins ensoleillé* (*ubac*). Les exemples en sont nombreux : tel est le cas du lit de l'Isère à travers tous les verrous de la Moyenne Tarentaise (Moûtiers, Saint-Marcel, Villette); tel est le cas aussi de l'Arc au Pas-du-Roc (Saint-Michel-de-Maurienne), de la Romanche, au-dessous du Mizoën, du Vénéon, en aval de Venosc, de la Durance à Briançon, du Guil à Château-Queyras, de l'Ubaye au Castellet, etc. Une telle localisation ne peut être l'œuvre du hasard. Pourquoi donc cette prédilection presque constante du cours d'eau pour l'ubac? Elle n'est évidemment pas le fait de la rivière qui, elle, n'est pas sensible à l'exposition. Il faut donc que l'emplacement du thalweg à travers le verrou ait été préparé antérieurement par un agent sensible aux conditions d'insolation. Cet organisme, enclin à se réfugier du côté de l'ombre, ne peut être qu'un glacier en décrue : c'est donc à un appareil glaciaire en voie de recul qu'il faut attribuer le creusement plus prononcé de l'encoche de l'ubac. Or, si la masse d'un glacier dans toute sa force est peu capable d'entailler la barre d'un verrou, à plus forte raison est-il difficile d'accorder à la langue terminale d'un glacier qui se meurt le pouvoir d'entamer des encoches parfois si profondes. On est donc conduit à penser qu'un travail aussi localisé et aussi nettement marqué est dû à un agent particulièrement actif dans la zone d'ablation du glacier, au torrent sous-glaciaire, la glace se réservant toutefois de donner au thalweg en voie d'enfoncement la forme d'auge.

La considération de l'encoche de l'ubac nous permet ainsi de saisir le mécanisme du façonnement de l'entaille la plus prononcée. Les autres encoches, qui lui sont en tous points analogues, nous paraissent donc pouvoir être attribuées, comme celle-ci, à la collaboration intime des torrents

sous-glaciaires et de la masse de glace elle-même, le travail capital étant toutefois l'œuvre de l'eau. Le nombre et la profondeur des entailles seraient ainsi en rapport étroit avec le nombre des torrents sous-glaciaires, leur force et leur durée.

En somme, si la mise en relief du verrou est l'œuvre de la masse de glace, l'encoche est comme la revanche de l'érosion fluviale sous-glaciaire sur la barre moins vigoureusement attaquée par le glacier.

MÉTÉOROLOGIE. — *Observations faites à l'Observatoire de Lyon pendant l'ouragan du 22 février 1914.* Note de M. **Ph. Flajolet**, présentée par M. B. Baillaud.

L'ouragan violent qui a sévi le 22 février 1914 sur le sud de la France a donné lieu sur nos régions à d'intéressantes observations.

Cet ouragan est pour la région lyonnaise le plus violent qu'on ait observé depuis la fondation de l'observatoire, c'est-à-dire depuis 35 ans. En effet, les phénomènes les plus importants de cette nature enregistrés dans nos archives avaient présenté les caractères suivants : le 23 février 1884 on avait observé un vent de Sud dont la vitesse moyenne resta supérieure à 16^{m} à la seconde pendant 5 heures et dont la plus forte rafale notée donne 39^{m}; en 1889 une rafale de l'Ouest donne momentanément 42^{m} et en 1910 on note 40^{m} au cours d'une bourrasque qui dura plusieurs heures.

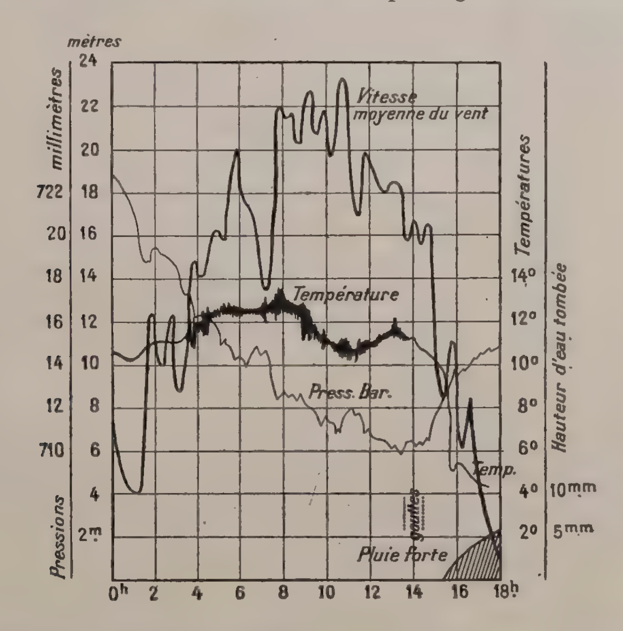
L'ouragan du 22 février 1914 n'est peut-être pas supérieur aux précédents en intensité, mais il les dépasse de beaucoup comme durée et par les dégâts causés : la vitesse moyenne du vent reste supérieure à 17^{m} à la seconde de $4^{h}40^{m}$ à $14^{h}40^{m}$ avec un maximum de $23^{m},6$ à $10^{h}40$, la vitesse la plus grande observée fut de $41^{m},60$ par seconde.

Quelques mots sur notre mode de mesure sont ici indispensables.

L'instrument que nous possédons à l'Observatoire de Lyon est un enregistreur de Rédier en service depuis la création de l'établissement : cette particularité est précieuse pour la comparaison de l'intensité des ouragans que nous avons faite ci-dessus. L'enregistreur est commandé électriquement par un moulinet de Robinson qui effectue un tour pour 5^{m} de chemin parcouru par le vent et qui envoie un courant électrique dans l'enregistreur tous les 25 tours, c'est-à-dire tous les 125^{m} de chemin parcouru : à chaque émission de courant, le crayon de l'enregistreur s'élève de 1^{mm} suivant une ordonnée et, cela pendant 10 minutes, temps au bout duquel il est ramené à l'origine, après un repos de 5 minutes, il est prêt pour une inscription de même durée.

En un mot, l'enregistreur totalise le chemin parcouru pendant 10 minutes, d'où l'on déduit aisément la vitesse moyenne du vent pendant ce laps de temps.

On conçoit, en revanche, que cet instrument se prête assez mal à la détermination de la violence des bourrasques car, dans ce cas, le vent agit par bouffées, par rafales, et il faut une observation continue des passages du courant pour pouvoir définir la vitesse maximum du vent dans un intervalle de temps relativement restreint. Le 22 février, au moment des observations directes, à $8^h 24^m$, on a noté des passages de courant toutes les



3 secondes, ce qui correspondrait à une vitesse du vent de $41^m,6$. On est donc conduit à multiplier la vitesse donnée par l'enregistreur par un coefficient, lorsqu'on veut avoir une idée de la force du vent dans les bourrasques. Jusqu'ici nous avions toujours adopté le facteur $\frac{3}{2}$ qui était appliqué aux vents antérieurs en l'absence d'observations directes; sans doute, le coefficient paraît suffisamment exact pour les vents moyens, mais il devient insuffisant pour les vents forts et, ici, le problème se complique de ce que ce coefficient est certainement très variable avec la *nature* du vent : en tous cas, nous pouvons lui attribuer une valeur beaucoup plus élevée car, au moment où nous observions $41^m,6$, l'enregistreur n'accusait qu'une vitesse moyenne de $21^m;6$, le coefficient $\frac{3}{2}$ ne fournit que $32^m,4$.

Cette vitesse maximum observée de $41^m,6$ ne correspond certainement pas à la plus grande rafale de la journée du 22 février 1914 : à $8^h 24^m$ au moment de sa détermination, la plupart des ravages de l'ouragan étaient produits ; on peut se faire d'ailleurs une idée de la violence du vent en songeant que des tuiles clouées du poids de 3^{kg} ont été arrachées d'un toit de 10^m de hauteur au-dessus du sol et transportées d'un seul jet à 60^m sur une pelouse où elles se sont enfoncées de près de 15^{cm}. Dans le graphique ci-joint nous avons indiqué la courbe des vitesses moyennes du vent, la courbe de la pression barométrique réduite à 0° et la courbe du thermomètre enregistreur. Ce dernier instrument est un enregistreur de Richard petit modèle, type B. C. M., placé sous un abri extrêmement robuste et fortement haubanné, très stable, construit spécialement pour les enregistreurs. La courbe du thermomètre est remarquable par les sautes brusques de la plume; vraisemblablement, elles ne sont pas dues à des variations de la température, mais bien plutôt à des trépidations de l'instrument et de l'abri; on pouvait donc déduire ainsi de l'amplitude des fluctuations une indication complémentaire des heures où l'ouragan a eu son maximum de violence. L'examen de la courbe du baromètre montre vers 7^h et 11^h deux relèvements sensibles de la pression correspondant à deux accalmies relatives dans la vitesse du vent.

Enfin, le pluvioscope à cadran et le pluviomètre enregistreur nous donnent le premier une petite ondée vers 14^h tandis que le second indique une forte pluie qui commence à $15^h 30^m$: a ce moment, l'ouragan se calme avec une rapidité extraordinaire et *sans saute de vent;* la température baisse brusquement et le vent devenu *presque nul* tourne au Nord.

HYDROLOGIE. — *Sur la Beatus-Höhle* (*Suisse*) *et l'eau-de-fond* (*Grundwasser*) *des calcaires*. Note de M. **E.-A. Martel**, présentée par M. L. De Launay.

En 1903 et 1904, M. H. Hartmann a heureusement complété l'exploration (demeurée inachevée en 1811, 1848 et 1870) de la rivière souterraine qui sort de la Beatus-Höhle (grotte de Saint-Beat) sur la rive Nord et à 143^m au-dessus du lac de Thun (Suisse, altitude 560^m).

On a pu reconnaître ainsi que le courant, débouchant à 703^m d'altitude, descend en torrent souterrain, coupé de cascades, avec une pente moyenne de près de 12 pour 100 (789^m d'altitude à 730^m de distance de l'entrée).

Un étage supérieur de la caverne (rendu confortablement accessible sur 800m de longueur), est l'ancien lit, plus large et plus sinueux que celui (en partie inaccessible) où le cours d'eau actuel s'écoule, à un niveau inférieur, parmi des crevasses étroites ou sous des voûtes immergées.

Le processus d'abaissement du courant au sein des fissures de la montagne est aussi évident que possible.

Un troisième étage est même en voie de creusement; car, à mi-hauteur de la grande cascade extérieure, on distingue une issue d'eau souterraine entre deux strates du calcaire. Un travail actuel tout pareil a été déjà constaté matériellement dans de nombreuses rivières intérieures : Tindoul-de-la-Vaissière (Aveyron), grottes des Eaux-Chaudes et de Bétharram (Basses-Pyrénées), de Sainte-Hélène, près Foix (Ariège), de la Balme (Isère), de Baume-les-Messieurs (Jura), du Guiers-Vif (Isère), d'Ingleborough (Angleterre), etc.

Il est la preuve que l'abaissement *du niveau de base* des thalwegs extérieurs (par l'érosion et d'autres causes), tout en exerçant sa grande attraction sur la formation des cavernes et des émergences, ne la tient pas dans une étroite et concomitante dépendance : c'est-à-dire que le creusement des cours d'eau souterrains n'est pas fonction absolue du creusement des vallées qui les drainent. Le parallélisme et la coïncidence des deux évolutions sont très souvent contrariés par les caprices de la tectonique et de la lithologie locales. C'est ainsi qu'aux grottes que je viens de citer, le creusement souterrain est en retard. Le torrent interne, étant retenu par une assise imperméable non encore emportée, a maintenu son issue bien plus haut que le thalweg où il débouche (de 250m au Guiers-Vif). Il en est de même aux émergences *impénétrables* de la Savitza de Wochein (Carniole), du Klein-Rhein (Walen-See, Suisse), du Cholet (Isère), de Cacouette (Basses-Pyrénées), etc.

Au contraire, dans les émergences ascendantes par siphonnement, comme l'Onysse et le Limon (Lot), le Loiret, Vaucluse, l'Ombla (Dalmatie), la Silver-Spring (Floride), etc., le courant souterrain a pu descendre au-dessous du thalweg voisin, parce que des plissements, redressements, renversements, ou des perforations d'assises imperméables ont aidé l'érosion, la corrosion et la pression hydrostatique à agrandir considérablement les conduites forcées au-dessous du niveau de base extérieur (de fait, les sources de cette catégorie sont toujours très puissantes).

Ces faits et exemples (et quantité d'autres) conduisent à la négation absolue de l'inexacte théorie allemande de la *Grundwasser* (ou eau-de-fond), que M. Grund et toute l'école du professeur Penck croient rassemblée en

nappe discontinue sous la base des formations calcaires (Karst, Causses, Jura, etc.). Et la Beatus-Höhle est un des meilleurs arguments à opposer à cette regrettable hypothèse, qui est de nature à provoquer (et qui a déjà provoqué d'ailleurs) bien des déboires et accidents, en matière de perforation de tunnels notamment.

Au fond de la caverne, à 1^{km} de l'entrée, le torrent tombe verticalement d'un trou de la voûte : le même dispositif de cascade sous plafond se retrouve à la Grotte des Fées de Saint-Maurice (Valais), à l'immense Höll-Loch du Muotta-thal, près Schwyz (exploré sur près de 10^{km} de longueur), à la grotte des Eaux-Chaudes (Basses-Pyrénées), aux carrières de Caumont et au Trou-aux-Pigeons du cap d'Antifer (Seine-Inférieure); dans de nombreuses cavernes du Yorkshire (Angleterre) et d'Autriche, à Mammoth-Cave (Kentucky), etc., etc. Aussitôt après les grandes pluies extérieures, toutes ces chutes augmentent terriblement et de *hautes eaux* envahissent les grottes, non pas par gonflement et extravasion de l'eau de fond (comme le prétendent Grund et Penck), mais par descente directe des infiltrations extérieures.

Cet irrégulier régime de véritables crues a donné naissance à la Beatus-Höhle, comme dans toutes les cavernes à niveau d'eau variables, à des *gours* ou reliefs serpentiformes de calcite, qui retiennent des bassins en cuvettes superposées et dont l'origine a été si longtemps méconnue.

Comme corollaire de cette arrivée rapide des eaux extérieures dans la Beatus-Höhle, on y observe, en plusieurs points, des blocs roulés de *granit* dépassant la grosseur d'une tête humaine. Ceci établit nettement, comme à Lombrive (Ariège), que les eaux infiltrées dans la grotte ont ruisselé d'abord au dehors, en amont et plus haut que la zone des calcaires où elle est creusée.

On ne paraît pas avoir rencontré encore d'abîmes ou puits naturels dans cette région d'absorption des eaux au-dessus et à 7^{km}-10^{km} au nord-nord-est de Beatenberg, qui comprend le *lapiaz* ou *Karren* du Seefeld et du Grunenberg. Mais des recherches approfondies les feront certainement découvrir dans ce bassin nourricier du torrent souterrain entre 1600^{m} et 1700^{m} d'altitude.

On a grand tort de conserver le nom de *moulins de glaciers* aux *marmites de géants* de la Beatus-Höhle, simplement érodées par les tourbillons d'eaux souterraines. Dans le fond de ces marmites, parfois très grandes, gisent les galets qui ont servi à la tarauder. Il en est de même au Höll-Loch du Muotta-thal (voir *Comptes rendus*, 4 août 1902).

Enfin, comme dans toutes les cavernes aménagées, on affirme aux visiteurs

que la température est uniforme et constante à 10° C. Cette universelle erreur est tout aussi mânifeste à la Beatus-Höhle qu'ailleurs.

Voici ce que j'ai relevé le 29 juin 1913 :

Air : au milieu 9°,5; sous une voûte basse non loin de l'entrée, 8° (à cause du courant d'air qui active l'évaporation amenant le refroidissement).

Eau de suintement, 8°; eau du ruisseau au fond, 9°; eau du ruisseau à la sortie, 7°. Ces deux derniers chiffres dénoncent que le torrent souterrain (qui est d'ailleurs beaucoup plus abondant à son issue qu'au fond) reçoit, peu avant sa sortie, un bras important, plus froid et de provenance extérieure notablement plus élevée mais inconnue.

SISMOLOGIE. — *Sur les phénomènes lumineux ayant accompagné le tremblement de terre de la Rauhe Alb, le* 16 *novembre* 1911. Note [1] de M. DE **MONTESSUS DE BALLORE**, présentée par M. Ch. Barrois.

Ce tremblement de terre de la Suisse et de l'Allemagne du Sud-Ouest a été accompagné de phénomènes lumineux qui l'ont précédé de quelques instants, et 111 observations bien définies, mais émanées en très petit nombre seulement de personnes instruites, ont pu être relatées [2]. Il s'agit d'en classer les descriptions suivant les textes pris à la lettre, et de ce travail préliminaire, exécuté sans idées préconçues, résulte le Tableau suivant :

I. Chutes de météores ou de bolides; 12 observations; 10,82 pour 100.

II. Chutes d'étoiles filantes; 7 observations; 6,31 pour 100.

III. Éclairs ordinaires et rectilignes, non en zigzag; 21 observations; 21,62 pour 100.

IV. Illuminations étendues de l'atmosphère ou du ciel, décrites comme des éclairs dits de chaleur; 51 observations; 45,85 pour 100.

---

(1) Présentée dans la séance du 2 mars 1914.

(2) V. SCHMIDT u. MACK, *Das süddeutsche Erdbeben von* 16 *November* 1911 (*Württ. Jahresb. f. Stad. u. Landesk.* 1912, H. 1, 96; Stuttgart, 1912); *Ueber die bei dem grossen schwabischen Erdbeben vom* 16 *November* 1911 *beobachteten Lichterscheinungen* (*Ges. deutsch. u. Aerzte Verh.* 1912, Leipzig, 1913). — NEUMANN u. DEEKE, *Das Erdbeben vom* 16 *November* 1911 *in Südbaden* (*Mitt. d. Grossh. Bad. geol. Landesamt*, VII, Bd. 1, S. 149, Heidelberg, 1912). — RÜTSCHI, *Das Erdbeben vom* 16 *November* 1911 *am Untersee und die Schollenbewegung des Seerückens und des Schinerberges* (*Jahresb. u. Mitth. d. Oberrh. geol. Ver.*, neue Folge, Bd. III, H. 1, S. 113, Karlsruhe, 1913).

V. Éclairs en boule; 7 observations; 6,31 pour 100.

VI. Flammes sur le sol ou feux Saint-Elme; 10 observations; 9,09 pour 100.

Ces phénomènes ont été observés indépendamment de leur genre de description, sur une surface de plus de 17000^{km^2} et jusqu'à 130^{km} de distance de la région épicentrale, laquelle, selon toute probabilité, s'étendait autour d'Ebingen, dans la Rauhe Alb. Par eux seuls, ces chiffres constituent déjà une forte présomption contre toute relation de cause à effet entre les phénomènes lumineux et le tremblement de terre, car, semble-t-il du moins, ceux-là devraient se produire uniquement dans l'aire épicentrale s'il existait une telle concomitance.

Des phénomènes lumineux d'origine sismique ne peuvent guère être conçus qu'émanant du sol. C'est le cas de la classe VI, mais ces 10 observations émanent de personnes présumées ignorantes d'après leurs professions.

La nuit du 16 au 17 novembre a été remarquablement claire et sereine dans toute la région ébranlée par le séisme. Il faut donc exclure tout phénomène électrique d'origine météorologique; éclairs ordinaires, de chaleur ou en boule. On sait aussi qu'il n'y a pas eu d'aurore polaire non plus.

Restent donc les descriptions de chutes de bolides ou d'étoiles filantes, deux phénomènes cosmiques trop peu différents pour être facilement différenciés par des personnes généralement peu au courant des observations de ce genre. Il est très remarquable que de Fribourg-en-Brisgau on ait précisé un point de la Balance comme origine du météore. Or, la nuit du 16 novembre est celle d'un radiant connu, celui de *mu* de la Grande Ourse, et n'est pas éloignée de l'essaim des Léonides, 13-14 novembre, et sachant que la nuit en question a été assez riche en étoiles filantes à diverses heures, la supposition que les phénomènes lumineux observés quelques instants avant le tremblement de terre se réduisent à une telle chute (explicitement pour 17,31 pour 100 des observations) s'impose de suite à l'esprit comme la meilleure et plus probable interprétation. Il paraît bien y avoir eu plusieurs météores à ce même instant et, en outre, les observations de flammes sur le sol n'ayant été signalées qu'à peu de distance d'Ebingen, on est induit à admettre une chute de météores plutôt que celle d'étoiles filantes, de sorte que les phénomènes des classes III, IV et V correspondraient à des observations incomplètes et limitées soit à la trajectoire du météore, soit à l'illumination produite.

Dans un Mémoire détaillé, ces 111 observations seront reproduites et discutées une à une.

Dans une Communication antérieure nous avons montré qu'au tremblement de terre du Chili central du 16 août 1906, semblable erreur a été commise relativement a des phénomènes lumineux d'origine électrique dus à un orage étendu. On se trouve donc là en présence de deux genres de phénomènes naturels dont la coïncidence fortuite avec des tremblements de terre a pu faire croire à une relation de cause à effet dénuée de toute réalité.

Il nous paraît très probable qu'il en a toujours été ainsi pour les observations de ce genre.

La séance est levée à 4 heures.

G. D.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

Ouvrages reçus dans la séance du 23 février 1914.

La silice et les silicates, par Henry Le Chatelier, Membre de l'Institut. Paris, A. Hermann et fils, 1914; 1 vol. in-8°. (Hommage de l'auteur.)

Annales du Service des Épiphyties, publiées par Ed. Prillieux, P. Marchal, Membres de l'Institut, et E. Foex : *Mémoires et Rapports présentés au Comité des Épiphyties sur les travaux et missions de* 1912; t. I. Paris, Lhomme, 1913; 1 vol. in-8°. (Hommage des auteurs.)

Documents recueillis par M. G. Lecointe, *sur la réforme des Calendriers;* s.l.n.d.; 4 fasc. in-4°. (Présenté par M. Ch. Lallemand.)

Observation des orages de 1913 *dans le département de la Gironde. Expériences de paragrêles électriques;* Note de M. F. Courty. (Extr. du *Bulletin de la Commission météorologique de la Gironde;* année 1913.) Bordeaux, Gounouilhou, 1914; 1 fasc. in-8°.

La lumière, par A. Turpain; avec 136 dessins et photographies. Paris, Ch. Delagrave, s. d.; 1 vol. in-4°. (Présenté par M. Appell.)

Die europäischen Schlangen, von Fritz Steinheil; Hefte III-IV. Iéna, Gustav Fischer, 1913-1914; 2 fasc. in-4°. (Présenté par M. Henneguy.)

Étude de Géographie médicale du golfe Persique, par L. Moreau. (Extr. des *Archives de Médecine navale;* avril-mai-juin 1909.) Paris, Imprimerie nationale, 1909.

Exposé des titres et travaux scientifiques du Dr Jules Boeckel, chirurgien de l'Hôpital civil de Strasbourg, Correspondant national de l'Académie de Médecine de Paris. Nancy, 1914; 1 fasc. in-8°.

Annales de l'Institut national agronomique; 2e série, t. XII, fasc. 2. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1913; 1 vol. in-8°.

OUVRAGES REÇUS DANS LA SÉANCE DU 2 MARS 1914.

Leonhardi Euleri Opera omnia. Series I : *Opera mathematica.* Volumen XII : LEONHARDI EULERI *Institutiones calculi integralis,* ediderunt FRIEDRICH ENGEL et LUDWIG SCHLESINGER. Volumen secundum. Adjectæ sunt Laurentii Mascheronii *Adnotationes ad calculum integralem Euleri.* Leipzig et Berlin, B.-G. Teubner, 1914 ; 1 vol. in-4°. (Acquis par voie de souscription.)

Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale. *Statistique générale de la France : Résultats statistiques du recensement général de la population effectué le* 5 *mars* 1911. Tome I. 1re Partie. Introduction : *Population légale ou de résidence habituelle.* Paris, Imprimerie nationale, 1913; 1 fasc. in-4°.

Assemblée générale des Actionnaires de la Banque de France du 29 *janvier* 1914, sous la présidence de M. GEORGES PALLAIN, Gouverneur. *Compte rendu*, au nom du Conseil général de la Banque, et *Rapport*, au nom de MM. les CENSEURS. Paris, imp. Paul Dupont, 1914; 1 fasc. in-4°.

Démonstration d'un théorème de Fermat, par V. DUCLA; 2e édition, revue et corrigée. Pau, imp. Garet et Haristoy, 1914; 1 fasc. in-8° (avec une correction manuscrite, à la page 23).

Annuaire de la Station agronomique de l'État, à Gembloux; t. II. Bruxelles, 1913; 1 vol. in-8°.

Publications of the University of Manchester. Historical series, n° 19. *The Naval Mutinies of* 1797, by CONRAD GILL. Manchester, 1913; 1 vol. in-8°.

Annotated bibliography of Iowa Geology and Mining, by CHARLES KEYES. (*Iowa Geological Survey;* t. XXII.) Des Moines, 1913; 1 vol. in-4°.

Il Po nelle effemeridi di un secolo, per GAUDENZIO FANTOLI. (Extr. des *Atti della Società italiana per il Progresso delle Scienze,* 6e réunion, Gênes, 1912.) Rome, 1913; 1 fasc. in-8°. (Hommage de l'auteur.)

Carnotite, the principal source of Radium, by THOMAS-F.-V. CURRAN. New-York, 1913; 1 fasc. in-8°.

Foraminifera, by EDWARD HERON-ALLEN and ARTHUR EARLAND. (*Proceedings of the Irish Academy;* t. XXXI. *Clare Island Survey;* part 64.) Dublin, 1913; 1 vol. in-4°.

ERRATA.

(Séance du 2 mars 1914.)

Note de M. *A. Blondel*, Sur la production et l'effet des harmoniques supérieurs, etc. :

Page 605, *intervertir* les deux clichés correspondant aux figures 2 et 3 respectivement.